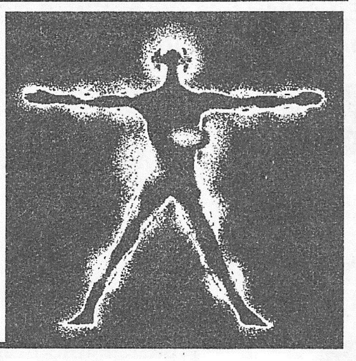
БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

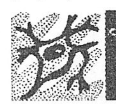


Выходит с 1998 года

Научно-прикладной журнал

Содержание

№ 2 **2003**



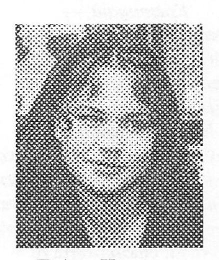

УДК 616.151.4–073.213:616.127–005.4:615.849.112

Гемореология больных стабильной стенокардией. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона

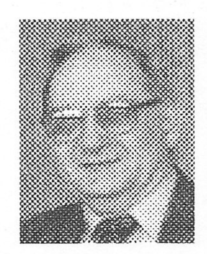
Киричук В.Ф., Малинова Л.И., Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д.



Вячеслав Федорович Киричук —
докт. мед. наук, проф., зав. каф. физиологии Саратовского гос. мед. ун-та.
Научные интересы: физиология и патология гемостаза, КВЧ-терапия



Лидия Игоревна Малинова —
канд. мед. наук, научн. сотр. Саратовского НИИ кардиологии.
Научные интересы: гемореология, ишемическая болезнь сердца, КВЧ-терапия



Анатолий Викторович Майбородин —
канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела спектрально-молекулярных измерений ОАО ЦНИИИА.
Научные интересы: методы и средства измерений флуктуаций в приборах СВЧ, акустоэлектроника, физика взаимодействия миллиметровых и субмиллиметровых волн с физическими и биологическими средами

Представлены данные о некоторых закономерностях влияния ЭМИ КВЧ на гемореологическую систему человека как в условиях здорового организма, так и при патологии. Исследования проведены как на частотах классической КВЧ-терапии, так и на частотах молекулярных спектров поглощения и излучения атмосферного кислорода (129 ГГц) и оксида азота (150,1...150,6 ГГц). Обоснован индивидуальный подход при назначении КВЧ-терапии.

In the work the data on some laws of influence of EMI EHF on the haemo-rheologic system of a person both in conditions of an able-bodied organism and at a pathology are submitted. Researches are carried out both on frequencies of classical EHF-therapy, and on frequencies of molecular spectrums of absorption and radiation of atmospheric oxygen (129 GHz) and oxide of nitrogen (150.1...150.6 GHz). The individual approach is proved at purpose of EHF therapy.

Введение

Активное применение КВЧ-терапии в современной кардиологической практике достаточно убедительно доказало ее эффективность при лечении различных форм ишемической болезни сердца (ИБС) [1–3]. Однако данные о влиянии электромагнитного излучения (ЭМИ) с частотами классической КВЧ-терапии, используемыми в широкой клинической практике (42,2 и 53,5 ГГц), на гемореологию достаточно противоречивы [4, 5].

Важнейшие биологически активные вещества, кислород и оксид азота (NO), занимают ключевые места в процессах регуляции функционирования гемореологической системы [6–8]. Экспериментально доказано участие оксида азота в предотвращении развития кардиоваскулярной дисфункции и, следовательно, увеличении долговременной выживаемости [9].

Известно, что вращательные молекулярные спектры резонансного поглощения и излучения (МСПИ) O_2 и NO также находятся в КВЧ-диапазоне [10].

На молекулярном уровне в реакции организма на КВЧ-воздействие участвуют биохимические механизмы, за счет которых в биологических объектах, подвергнутых КВЧ-облучению малой

интенсивности, происходит активация различных ферментативных систем [11]. Поэтому в соответствии с научным подходом к объяснению механизма воздействия ЭМИ КВЧ на биологические объекты (на организменном, клеточном и молекулярном уровнях), представленным в работах [11–13], можно предположить, что воздействие ЭМИ на частотах МСПИ NO и O_2 будет повышать их реакционную способность, оказывая существенное влияние на функционирование гемореологической системы.

К настоящему времени накоплен клинический и экспериментальный материал о закономерностях влияния ЭМИ КВЧ на частотах МСПИ оксида азота (150,1…150,6 ГГц) на тромбоцитарное звено системы гемостаза больных нестабильной стенокардией [14, 15], однако мы не располагали данными о закономерностях такого воздействия на гемореологию больных стабильными формами стенокардии. Достаточно широко представлены работы по изучению влияния на биологические объекты ЭМИ КВЧ, частоты которого соответствуют первому максимум молекулярного поглощения атмосферного кислорода (60…65 ГГц) [15, 16]. В медицинской практике широко используются терапевтические КВЧ-генераторы, работающие в этом диапазоне частот [17]. Под «классической» КВЧ-терапией в дальнейшем подразумевается терапевтическое воздействие ЭМИ с частотами 42,2 и 53,5 ГГц.

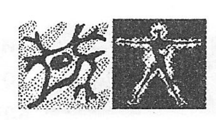
В литературе неоднократно подчеркивалась перспективность применения ЭМИ КВЧ в области частот 120…130 ГГц, соответствующих второму максимуму молекулярного поглощения атмосферного кислорода [17, 18]. Исследование влияния ЭМИ КВЧ в данной области частот на гемореологию представляет большой интерес, поскольку энергия кванта КВЧ-излучения ($h\nu$) в диапазоне 120…130 ГГц примерно в 2 раза больше, чем в первом частотном диапазоне. В связи с этим частота 129 ГГц была предложена для исследования как частота более эффективного взаимодействия с биологической средой.

Высокая вероятность значимого влияния ЭМИ миллиметрового (ММ) диапазона на частотах МСПИ оксида азота и атмосферного кислорода на реологические свойства крови, необходимость сравнительного анализа с аналогичным влиянием «классических» частот и отсутствие литературных данных по этому вопросу определили цель – изучить закономерности влияния ЭМИ ММ-диапазона нетепловой интенсивности на гемореологические параметры и структурно-функциональные особенности эритроцитов больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц.

Материал и методы

Обследовано 189 человек, поступивших на лечение в Саратовский НИИ кардиологии с диагнозом стабильной стенокардии, и 45 практически здоровых лиц. Больные стабильной стенокардией были разделены на основную группу и группу сравнения.

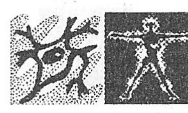
Основную группу составили 100 пациентов мужского пола, страдающих стабильной стенокардией II и III функционального класса (по канадской классификации), средний возраст которых соста-



Александр Павлович Креницкий — см. с.3.



Владимир Дмитриевич Тупикин *— канд. физ.-мат. наук, проф. каф. физики твердого тела Саратовского гос. ун-та, главный научн. сотр., зам. ген. директора ОАО ЦНИИИА, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники. Научные интересы: вакуумная и твердотельная СВЧ-электроника, методы и средства СВЧ-измрений, взаимодействие низкоинтенсивных электромагнитных ММ-волн с биологическими объектами*



вил 55,2 года (в диапазоне от 43 до 65 лет). Из исследования исключались больные с нарушением углеводного и белкового обмена, ожирением любой степени, клинически значимой недостаточностью кровообращения, окклюзионным атеросклеротическим поражением периферических сосудов, патологией печени и почек. В группу сравнения вошли мужчины (89 человек) со стабильной стенокардией II и III функционального класса, средний возраст которых составил 53,6 года (в диапазоне от 49 до 64 лет), в анамнезе у них отмечалось умеренное повышение артериального давления.

В группе контроля также были выделены две подгруппы. Основную подгруппу составили мужчины (20 человек), средний возраст которых был 42,5 года (в диапазоне от 39 до 56 лет), без признаков сердечно-сосудистой патологии. В дополнительную подгруппу контроля вошли практически здоровые лица (25 человек), средний возраст которых составил 17,5 лет (в диапазоне от 17 до 19 лет), без наследственного отягощения по сердечно-сосудистой патологии. От всех обследуемых было получено информированное согласие на использование образцов их крови для проведения научных исследований.

Для исследования использовали образцы цельной крови, стабилизированной трехзамещенным цитратом натрия (3,8 %), и эквигематокритной суспензии отмытых эритроцитов в изотоническом растворе хлорида натрия.

Облучение исследуемого материала ЭМИ с частотами 42,2 и 53,5 ГГц проводилось при помощи аппаратов «Явь-1-7,1» (42,2 ГГц) и «Явь-1-5,6» (53,5 ГГц) с экспериментальной установкой «Ясность». Облучение проходило в режиме прерывистой генерации (режим 2–5). Общее время облучения составляло 15 мин, т. е. два полных цикла, мощность падающего ЭМИ – 10 мВт [19].

В экспериментах по изучению взаимодействия КВЧ-поля на частотах МСПИ NO (0,1 и 1 мВт/см^2) и O_2 (0,6 мВт/см^2) использовали разработанный в ОАО ЦНИИИА панорамно-спектрометрический комплекс с квазиоптическим рефлектометром, работающим в диапазоне 118…270 ГГц [20]. С помощью входящего в состав комплекса квазиоптического КВЧ-генератора, в основе которого используется квазиоптический лучевод, проводили формирование облучающего электромагнитного поля с вращающимися векторами **E** и **H**, имитирующего молекулярные спектры оксида азота и атмосферного кислорода [21].

Исследуемые образцы цельной крови и эквигематокритной суспензии помещались в конусообразную кювету из прозрачного для электромагнитных волн КВЧ-материала. Эта кювета устанавливалась в квазиоптическую согласованную нагрузку, обеспечивающую поглощение всей поступающей по лучеводу мощности. Для исключения влияния внешних электромагнитных полей образцы крови забирались экранированным металлической фольгой шприцем, облучение проводилось в экранированном помещении.

Определение гемореологических параметров осуществлялось с использованием отечественного ротационного вискозиметра АКР-2 [22, 23]. Агрегационная способность эритроцитов и деформируемость эритроцитарных мембран оценивалась ориентировочным методом по рассчитываемому индексу агрегации и деформируемости эритроцитов (ИАЭ и ИАД) [24].

Структурно-функциональные параметры эритроцитов в нативных мазках крови определялись на модернизированном варианте компьютеризированного микрофотометра – визуализатора лабораторного применения [25]. В мазках оценивались агрегационная способность и деформируемость эритроцитов, их диаметры. Измерение диаметров эритроцитов проводилось при помощи специально созданных компьютерных программ.

Статистический анализ данных осуществлялся при помощи стандартных программ Microsoft Excel 2000 и SPSS 10.0.5 for Windows. Рассчитывались параметры описательной статистики, проверялась нормальность распределения. В этом случае проводился парный T-test. В остальных случаях использовались методы непараметрической статистики (парный тест Уилкоксона). Различие считалось достоверным при уровне значимости $p<0,05$.

С целью перевода полученных при ротационной вискозиметрии дискретных данных в непрерывные последние были аппроксимированы в виде полиномов высокой степени [26, 27]. Для характеристики функционального состояния изучаемой системы использовалась методика построения фрагментов фазового портрета на различных плоскостях многомерного фазового пространства [28].

Направленность и степень изменений гемореологических параметров определялись путем расчета индекса эффективности по формуле:

$$I_e = \frac{x_0 - x_k}{x_k} \cdot 100 \text{ \%},$$

где x_0 – исследуемый параметр после воздействия ЭМИ КВЧ (опытный); x_k – исследуемый параметр до облучения (контрольный).

Потенциальная способность ЭМИ КВЧ-диапазона к изменению гемореологических параметров облучаемого *in vitro* образца крови оценивалась по индексу вариабельности, рассчитываемому по формуле

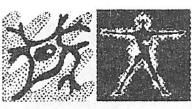
$$I_v = \left|+\overline{I}\right| + \left|-\overline{I}\right|,$$

где $+\overline{I}$ – среднее арифметическое положительных индексов эффективности, а $-\overline{I}$ – среднее арифметическое отрицательных индексов эффективности.

Результаты и обсуждение

Влияние ЭМИ КВЧ (53,5 ГГц) на реологические свойства цельной крови и функциональные параметры эритроцитов больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц. При воздействии ЭМИ КВЧ с частотой 53,5 ГГц на образцы цельной крови практически здоровых лиц молодого возраста в целом в группе отмечается тенденция к повышению ее вязкости (I_e от 18,99 до 20,59 %), при этом происходят статистически не достоверное увеличение агрегационной способности эритроцитов на 10,15 % и повышение пластичности эритроцитарных мембран на 3,76 % Установлено, что под влиянием ЭМИ КВЧ на указанной частоте происходили равновероятное повышение, понижение и отсутствие изменений вязкости цельной крови практически здоровых лиц.

При КВЧ-воздействии (53,5 ГГц) на образцы цельной крови больных стабильной стенокардией происходит повышение уровня вязкости цельной крови, достигающее уровня статистической достоверности на высоких скоростях сдвига (I_e от 3,7 до 8,2 %). Агрегационная способность эритроцитов при этом увеличивается в среднем на 2,24 %, отмечается тенденция к возрастанию жесткости их мембран (I_e = –0,77 %). При этом в 31,1 % случаев отмечается снижение вязкости цельной крови в среднем на 5,8 %, за счет уменьшения способности эритроцитов к агрегации и увеличения пластичности их мембран. В 17,2 % случаев облучение (с указанными параметрами) цельной крови больных стабильной стенокардией не приводит к изменению вязкости цельной крови. При этом отмечается некоторое увеличение способности эритроцитов к агрегации, деформируемость их мембран не меняется. У 51,7 % больных стабильной стенокардией происходит статистически достоверное повышение вязкости цельной крови. Повышение агрегационной способности эритроцитов достигает уровня статистической достоверности, в отличие от снижения деформируемости эритроцитарных мембран.

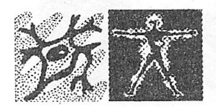


Таким образом, при КВЧ-облучении (53,5 ГГц) цельной крови больных стабильной стенокардией происходит преимущественное повышение вязкости цельной крови и агрегационной способности эритроцитов.

В подавляющем большинстве случаев (72 %) отмечалось статистически достоверное повышение вязкости суспензии отмытых эритроцитов больных стабильной стенокардией под влиянием ЭМИ КВЧ (53,5 ГГц). Агрегационная способность эритроцитов при этом статистически достоверно возросла на 11,8 %. Наблюдалось незначительное увеличение пластичности эритроцитарных мембран (на 1,75 %). Аналогичные изменения отмечались и в группе сравнения, у больных ИБС с артериальной гипертензией (ИБСАГ).

При ресуспензировании отмытых эритроцитов больных стабильной стенокардией облученным изотоническим раствором хлорида натрия изменения вязкости суспензии, агрегационной способности красных кровяных клеток и деформируемости их мембран не происходило. Если же облучать отдельно плазму и ресуспензировать ею отмытые эритроциты, то отмечается статистически достоверно выраженное снижение вязкости цельной крови в 100 % случаев за счет выраженного уменьшения агрегационной способности эритроцитов.

Изменения гемореологических параметров, как цельной крови, так и эквигематокритной суспензии эритроцитов в группе сравнения (ИБСАГ) были аналогичны изменениям в основной, но большей степени выраженности.



При оценке мазков контрольных и опытных образцов цельной крови больных стабильной стенокардией было установлено выраженное изменение деформируемости эритроцитарной мембраны и агрегационной способности эритроцитов (рис. 1). Отмечалось значительное увеличение размеров эритроцитов (большого диаметра) от 6,45±0,8 мкм в контрольных образцах до 7,98±0,3 мкм – в опытных образцах.

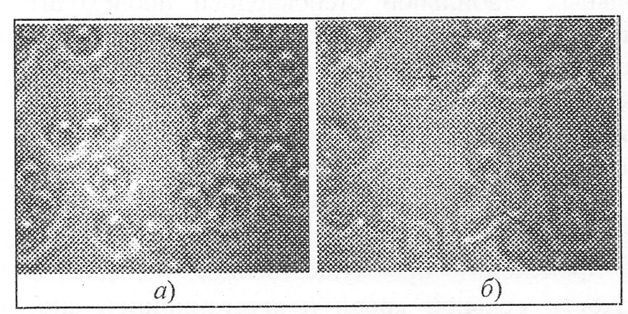


Рис. 1. Изменение морфологических и функциональных свойств эритроцитов больных стабильной стенокардией под воздействием ЭМИ КВЧ с частотой 53,5 ГГц: *а*) – контрольный образец, *б*) – облученный образец. Стрелками показаны «монетные столбики» из эритроцитов.

Влияние ЭМИ КВЧ (42,2 ГГц) на реологические свойства цельной крови и функциональные параметры эритроцитов больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц. При воздействии ЭМИ с частотой 42,2 ГГц на образцы цельной крови практически здоровых лиц молодого возраста отмечалось повышение ее вязкости на всех исследуемых скоростях сдвига в среднем на 12,0 %, достигающее уровня статистической значимости только при высоких скоростях сдвига. Установлена тенденция к увеличению агрегационной способности эритроцитов на 11,4 % и к повышению жесткости эритроцитарных мембран на 1,0 %.

Было установлено, что под влиянием ЭМИ КВЧ с частотой 42,2 ГГц в условиях *in vitro* происходит преимущественное (в 75 % случаев) повышение вязкости цельной крови практически здоровых лиц, сопровождающееся снижением агрегационной способности эритроцитов и повышением пластичности их мембран.

Отличий в изменении гемореологических параметров как цельной крови, так и эквигематокритной суспензии эритроцитов, под влиянием ЭМИ КВЧ с частотой 42,2 ГГц у основной и дополнительной контрольных подгрупп не выявлялось.

Установлено, что при КВЧ-облучении с указанной частотой образцов цельной крови больных стабильной стенокардией происходит повышение уровня ее вязкости, статистически достоверное как на высоких, так и на низких скоростях сдвига (I_e от 1,24 до 7,75 %). Агрегационная способность эритроцитов при этом статистически достоверно повышается в среднем на 4,07 %, а жесткость эритроцитарных мембран имеет тенденцию к повышению в среднем на 0,7 %.

При облучении ЭМИ КВЧ с частотой 42,2 ГГц цельной крови больных основной группы преимущественно происходит повышение вязкости и агрегационной способности эритроцитов в 57,6 % случаев. Деформируемость эритроцитарных мембран при этом снижается.

Отличий в направленности изменений под влиянием ЭМИ КВЧ на указанной частоте между основной группой и группой сравнения не было. В последней отмечалась более значимая выраженность эффекта; I_e для вязкости цельной крови варьировали от 5,5 до 19,2 %.

При воздействии ЭМИ КВЧ с частотой 42,2 Гц эквигематокритной суспензии отмытых эритроцитов больных стабильной стенокардией отмечается преимущественное повышение (44,4 %) кажущейся вязкости суспензии. При ресуспензировании отмытых эритроцитов больных стабильной стенокардией облученным изотоническим раствором хлорида натрия изменения гемореологических параметров не происходило. Если же облучать отдельно собственно плазму и ресуспензировать ею отмытые эритроциты больных стабильной стенокардией, то отмечается статистически достоверное выраженное снижение вязкости цельной крови на всех исследуемых скоростях сдвига (I_e от -9,6 до -17,6 %). Агрегационная способность эритроцитов при этом падает, а пластичность их мембран не изменяется.

Отмечалось более выраженное преимущественное повышение вязкости цельной крови и эквигематокритной суспензии больных стабильной стенокардией группы сравнения (ИБСАГ).

Установлено, что минимальное количество эритроцитов наблюдается у образцов цельной крови, вязкость которых понижается под влиянием ЭМИ КВЧ с частотой 42,2 ГГц, и максимальное – у образцов цельной крови, вязкость которых увеличивается при воздействии ЭМИ указанной частоты. Аналогичная зависимость наблюдается от исходного уровня тромбоцитов в крови. В группе сравнения (ИБСАГ) зависимость изменения вязкости крови под влиянием ЭМИ КВЧ от исходного уровня эритроцитов в образце такая же, как в основной группе больных ИБС.

При оценке мазков контрольных и опытных образцов цельной крови больных стабильной стенокардией при помощи компьютерного микрофотометра-визуализатора были выявлены аналогичные изменения, происходящие после ЭМИ КВЧ с частотой 53,5 ГГц.

Оценка функционального состояния гемореологической системы цельной крови больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц под влиянием ЭМИ КВЧ (42,2 и 53,5 ГГц). В случае воздействия ЭМИ (42,2 и 53,5 ГГц) на образцы цельной крови происходит изменение прочности эритроцитарных агрегатов: снижение при частоте 42,2 ГГц и повышение при частоте 53,5 ГГц. Зона суспензионной стабильности, определяемая при анализе фрагментов фазовых портретов на плоскости «изменение вязкости цельной крови в процессе ротационной вискозиметрии – скорость этого изменения» (как больных, так и практически здоровых лиц), смещается в область более высоких скоростей сдвига. Эти данные позволяют предположить «адаптирующее» действие ЭМИ КВЧ на указанных частотах гемореологической системы больных стабильной стенокардией к более высоким скоростям сдвига, что в условиях одинаковой геометрии сосудистого русла соответствует более высоким уровням артериального давления.

Доказано, что «жидкое» напряжение сдвига (*fluid shear stress*) стимулирует многочисленные варианты ответа эндотелиоцитов. Они включают увеличение продукции вторичных мессенджеров: инозитол-1,4,5-трифосфата [29, 30] и циклического гуанозин-монофосфата [31], повышение высвобождения таких вазоактивных субстанций, как простациклин [32], оксид азота [33] и т. д. Таким образом, можно косвенно судить о той интенсивности функциональной активности эндотелия сосудистой стенки, при которой отмечается максимальная суспензионная стабильность цельной крови больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц.

Влияние ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ и поглощения атмосферного кислорода на реологические свойства цельной крови и функциональные параметры эритроцитов больных стабильной стенокардией. В целом в группе больных стабильной стенокардией, образцы крови которых подвергались ЭМИ (129 ГГц) в течение 15 мин, происходит снижение вязкости цельной крови при всех исследуемых скоростях сдвига, отсутствии изменений агрегационной способности эритроцитов и уменьшении пластичности эритроцитарных мембран (I_e для вязкости от –2,7 до –3,8 %, а для деформируемости до –1,23 %). При этом под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ атмосферного кислорода в 50 % случаев происходило снижение вязкости, в 38,9 % – повышение вязкости цельной крови и в 11,1 % случаев изменений не отмечалось. Аналогичные изменения были выявлены в группе контроля.

Установлена зависимость I_e для вязкости цельной крови при высоких скоростях сдвига от исходного количества эритроцитов, ее графическое изображение имеет U-образный характер (рис. 2), с минимальными значениями I_e при концентрации эритроцитов от 4,5 до 5,0·10^{12}/л.

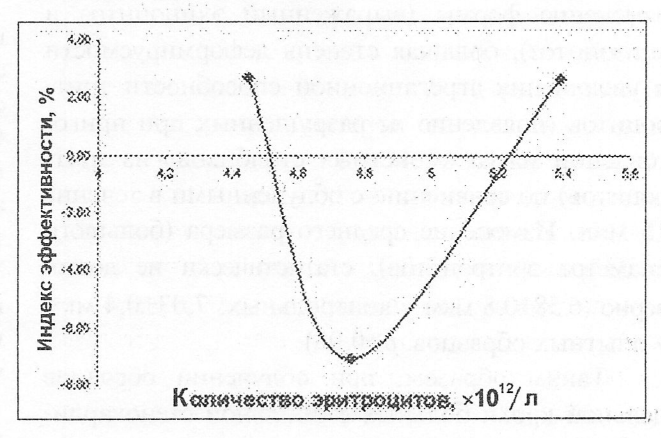
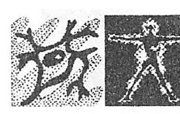


Рис. 2. Зависимость индекса эффективности для вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией от исходного уровня эритроцитов при воздействии ЭМИ КВЧ с частотой 129 ГГц в течение 15 мин



Полученные данные свидетельствуют о преимущественном понижении вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 в течение 15 мин.

При 30-минутном облучении цельной крови больных этой группы в целом отмечаются тенденция к уменьшению вязкости цельной крови на всех исследуемых скоростях сдвига и снижение агрегационных свойств эритроцитов. Деформируемость их мембран при этом остается неизменной (I_e для вязкости цельной крови – от –2,9 до –3,2 %, а для агрегации и деформируемости – соответственно –0,3 % и 0,0 %). При этом в 52,4% случаев отмечалось уменьшение вязкости цельной крови, в 23,8% – повышение и в 23,8% случаев изменений гемореологических параметров выявлено не было.

При рассмотрении направленности и выраженности изменений вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией под влиянием ЭМИ КВЧ с частотой 129 ГГц в зависимости от исходного уровня эритроцитов обращает на себя внимание минимальное ее изменение при исходном количестве эритроцитов от 4,5 до $5\cdot10^{12}$/л. Максимальное снижение вязкости цельной крови при воздействии ЭМИ КВЧ (129 ГГц) в течение 30 мин отмечается при исходном уровне тромбоцитов более $250\cdot10^{9}$/л.

При оценке мазков цельной крови до и после облучения (129 ГГц, 30 мин) установлены изменение формы (выраженный эхиноцитоз и анизоцитоз), большая степень деформируемости и увеличения агрегационной способности эритроцитов (появление не разрушенных при приготовлении мазка «монетных столбиков» из эритроцитов) по сравнению с облученными в течение 15 мин. Изменение среднего размера (большого диаметра эритроцитов), статистически не достоверно (6,58±0,8 мкм у контрольных; 7,03±0,4 мкм у опытных образцов, p>0,05).

Таким образом, при облучении образцов цельной крови больных стабильной стенокардией ЭМИ КВЧ (129 ГГц) в течение 30 мин отмечается более выраженный эффект понижения ее вязкости по сравнению с 15-минутным режимом облучения как по количеству образцов, так и по индексу эффективности (рис. 3).

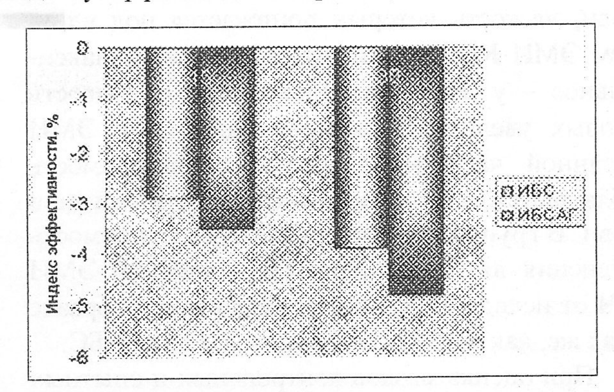


Рис. 3. Индексы эффективности для вязкости цельной крови больных основной (ИБС) группы и группы сравнения (ИБСАГ) под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте 129 ГГц при 15- и 30-минутной экспозиции

Максимальное снижение вязкости цельной крови под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2, по нашим данным, происходило при исходном количестве эритроцитов от 4 до $4{,}5\cdot10^{12}$/л, тромбоцитов – более $250\cdot10^{9}$/л и лейкоцитов – до $5\cdot10^{9}$/л.

Отмечалось значительное различие (p<0,05) в выраженности снижения вязкости цельной крови под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 при 15- и 30-минутной экспозиции в основной группе и группе сравнения. Большая степень снижения вязкости цельной крови наблюдалась у больных с ростом распространенности атеросклеротического поражения коронарных сосудов.

При 60-минутном облучении образцов цельной крови больных стабильной стенокардией в целом повышается ее вязкость при всех исследуемых скоростях сдвига (I_e от –3,8 до 7,7 %). Одновременно статистически достоверно повышалась агрегационная способность эритроцитов, а пластичность эритроцитарных мембран практически не изменялась. При этом под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 в 14,3 % случаев происходило снижение вязкости, в 64,3 % – повышение вязкости цельной крови и в 21,4 % случаев изменений не отмечалось.

Была установлена зависимость направленности и степени выраженности эффекта 60-минутного воздействия ЭМИ КВЧ (129 ГГц) от исходного уровня эритроцитов. Минимальное повышение вязкости цельной крови в этом слу-

чае происходило при исходном уровне эритроцитов до $4{,}5 \cdot 10^{12}$/л.

В результате исследования мазков контрольных и опытных образцов цельной крови больных стабильной стенокардией было выявлено изменение формы (выраженный эхиноцитоз и анизоцитоз), деформируемости и агрегационной способности эритроцитов (появление пространственных сетей эритроцитарных агрегатов) (рис. 4). Изменение среднего размера (большого диаметра) эритроцитов статистически не достоверно ($6{,}45 \pm 0{,}8$ мкм у контрольных и $7{,}9 \pm 1{,}2$ мкм у опытных образцов, $p = 0{,}075$).

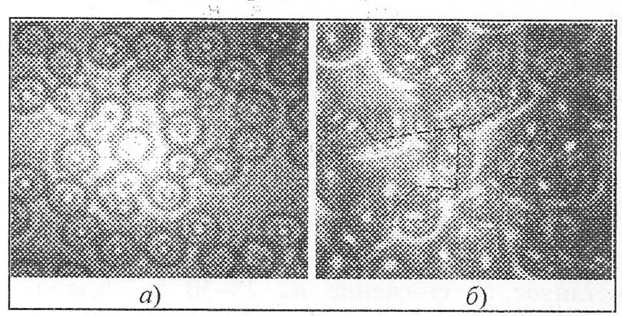
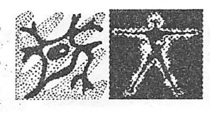


Рис. 4. Изменение морфологических и функциональных свойств эритроцитов больных стабильной стенокардией под воздействием 60-минутного ЭМИ КВЧ с частотой 129 ГГц: *а*) – контрольный образец, *б*) – облученный образец. Штрихами показано образование пространственных сетей эритроцитарных агрегатов (clumps)

Степень повышения вязкости цельной крови носит характер обратной зависимости от распространенности атеросклеротического процесса в коронарных артериях: наименьшие I_e для вязкости цельной крови наблюдались при поражении одной артерии.

Нами были отмечены большие значения стандартного отклонения в контрольных (необлученных) образцах, по сравнению с облученными, опытными. Подобная зависимость, вероятно, является отражением общего физиологического правила Вильдера–Лейтеса, определяющего зависимость величины реакции биосистемы от интенсивности действующего стимула [34]. Поскольку ЭМИ КВЧ является физиологическим раздражителем, зависимость реакции биосистемы крови на него отвечает указанному общему физиологическому правилу. Отсутствие уменьшения дисперсии вязкости цельной крови при 60-минутной экспозиции, – вероятно, проявление запредельного уровня «нагрузки» на реологическую систему крови [31]. Подобная зависимость была нами выявлена и при других режимах облучения.



Таким образом, изменение гемореологических параметров существенно зависит от времени воздействия ЭМИ КВЧ на частоте 129 ГГц (рис. 5). С возрастанием времени экспозиции происходит увеличение вязкости цельной крови. Так, при 60-минутном режиме ЭМИ с частотой 129 ГГц, в отличие от менее продолжительных, происходит повышение вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц.

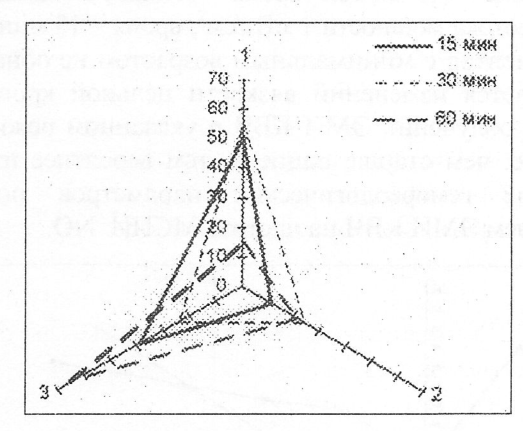
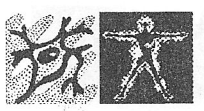


Рис. 5. Зависимость направленности эффекта воздействия ЭМИ КВЧ (129 ГГц) от времени экспозиции на вязкость цельной крови больных стабильной стенокардией (*1* – снижение, *2* – отсутствие изменений, *3* – повышение)

Влияние ЭМИ на частоте МСПИ NO при плотности потока мощности 0,1 мВт/см² на реологические свойства цельной крови больных стабильной стенокардией. В группе больных стабильной стенокардией в целом при 15-минутном облучении цельной крови ЭМИ в указанном режиме обнаружено повышение уровня ее вязкости на всех исследуемых скоростях сдвига, достигающее степени статистической достоверности при низких скоростях сдвига. Отмечалось увеличение агрегационной способности эритроцитов в среднем на 4,9 % и снижение деформируемости их мембран на 6,5 %. При этом в 25 % случаев наблюдалось понижение вязкости цельной крови, в 64,3 % происходило повышение ее и в 10,7 % отсутствовало изменение.

В подгруппе с повышением вязкости цельной крови (64,3 %) отмечались статистически достоверное ее увеличение на всех исследуемых



скоростях сдвига, тенденция к повышению агрегационной способности эритроцитов (I_e в среднем 4,07 %). Деформируемость эритроцитарных мембран статистически достоверно снижалась, (I_e ~–7,9 %).

Выделение в последней группе образцов с индексом эффективности до 10 %, 20 % и более позволило определить направление и степень изменения вязкости цельной крови в зависимости от возраста пациента, чей образец крови облучался. Зависимость представлена в виде *U*-образной кривой (рис. 6, где *1* – плотность потока мощности – 0,1 мВт/см^2 время – 15 мин; *2* – плотность потока мощности 1 мВт/см^2, время – 15 мин). У пациентов с минимальным возрастом не обнаруживается изменений вязкости цельной крови при ее облучении ЭМИ КВЧ в указанном режиме, т. е. чем старше пациент, тем вероятнее изменение гемореологических параметров под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO.

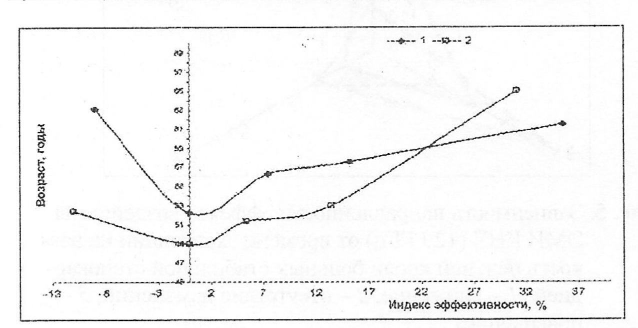


Рис. 6. Зависимость между возрастом пациентов и индексом эффективности для вязкости на высоких скоростях сдвига (200 с$^{-1}$) цельной крови, при воздействии ЭМИ на частоте МСПИ NO

Зависимость степени повышения вязкости крови от исходного количества форменных элементов аналогична таковой при КВЧ-облучении образцов цельной крови на частоте МСПИ O_2 в течение 15 мин.

При воздействии на цельную кровь больных стабильной стенокардией ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO (0,1мВт/см^2) в течение 15 мин отмечаются повышение прочности эритроцитарных агрегатов и смещение зоны суспензионной стабильности крови в сторону больших значений скорости сдвига. При этом прослеживается зависимость выраженности эффекта КВЧ-воздействия от исходной вязкости облучаемого образца как на высоких (200 с$^{-1}$), так и на низких (20 с$^{-1}$) скоростях сдвига. Так, при облучении образцов крови с исходной вязкостью на высоких (200 с$^{-1}$) скоростях сдвига до 3 мПа·с включительно, обращает на себя внимание статистически достоверное (p = 0,0001) повышение вязкости цельной крови с высокими I_e – от 50 и выше (рис. 7, где *1* – плотность потока мощности 0,1 мВт/см^2, *2* – 1 мВт/см^2). При этом повышалась агрегационная способность эритроцитов и деформируемость их мембран (p = 0,004). У образцов цельной крови с исходным уровнем вязкости от 3 до 4 мПа·с статистически достоверное повышение вязкости происходит на всех скоростях сдвига (p = 0,003). Повышение агрегационной способности эритроцитов не достигало уровня p < 0,05, а пластичность их мембран достоверно (p = 0,009) снижалась (I_e от 8,6 до 15,1 %). Если же исходная вязкость цельной крови находилась в диапазоне 4…5 мПа·с, то вязкость после облучения повышалась в среднем на 4 %. При облучении цельной крови, вязкость которой составляла более 5 мПа·с, происходило отчетливое ее снижение на 28–30 %. Аналогичная тенденция прослеживалась при оценке степени изменения вязкости цельной крови и при низких скоростях сдвига (20 с$^{-1}$).

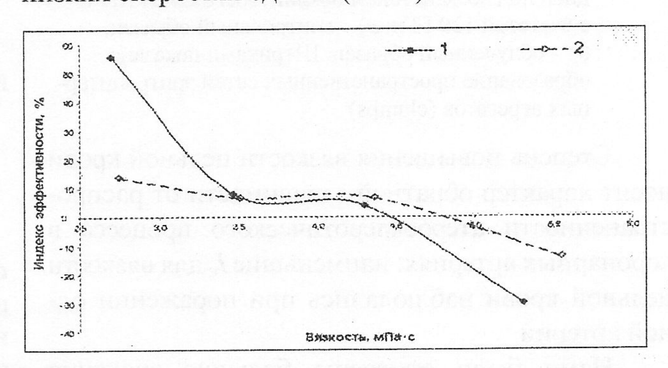


Рис. 7. Зависимость эффективности КВЧ-облучения на частоте МСПИ NO в течение 15 мин от исходной вязкости образца цельной крови на высоких скоростях сдвига (200 с$^{-1}$))

Таким образом, при 15-минутном воздействии на образцы цельной крови больных стабильной стенокардией ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO с уровнем падающей мощности 0,1 мВт/см^2 ее вязкость снижается достоверно, если исходная величина при высоких скоростях сдвига превышает 4,7 мПа·с.

Различия основной группы и группы сравнения при КВЧ-обучении на частоте МСПИ NO с уровнем падающей мощности 0,1 мВт/см^2 в течение 15 мин не достигали уровня статистиче-

ской значимости, хотя прослеживалась тенденция к более выраженным изменениям вязкости цельной крови и структурно-функциональных параметров эритроцитов в группе сравнения (ИБСАГ).

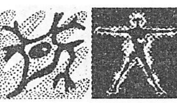
При КВЧ-облучении указанного режима цельной крови больных стабильной стенокардией отмечается большая вариабельность показателей до облучения, чем после, т. е. SD (стандартное отклонение) исходных образцов больше SD опытных образцов. Подобное явление рассматривалось нами как отражение правила Вильдера-Лейтоса [31].

В группе больных стабильной стенокардией в целом при 30-минутном воздействии ЭМИ на частоте МСПИ NO на образцы крови отмечались увеличение ее вязкости при всех исследуемых скоростях сдвига, не достигающее уровня статистической достоверности, а также тенденция к повышению агрегационной способности эритроцитов на 9,3 % и увеличению жесткости их мембран на 0,7 % (I_e от 10,4 до 23 %).

При указанном режиме облучения существенного изменения диапазона скоростей сдвига, соответствующих разрушению эритроцитарных агрегатов под влиянием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO (0,1 мВт/см^2), не происходило. Аналогичная картина наблюдалась для диапазонов скоростей сдвига, соответствующих области суспензионной стабильности цельной крови больных стабильной стенокардией до и после КВЧ-воздействия (30 мин, 0,1 мВт/см^2).

Наличие зависимости влияния ЭМИ КВЧ указанного режима на уровень вязкости цельной крови и функциональные параметры эритроцитов от исходной вязкости облучаемого образца установить не удалось, так как все больные этой группы имели исходную вязкость от 3 до 4 мПа·с (200 с$^{-1}$) и от 4 до 5 мПа·с (20 с$^{-1}$).

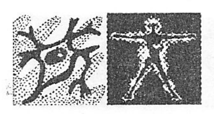
Влияние ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO при плотности потока мощности 1 мВт/см^2 на реологические свойства цельной крови больных стабильной стенокардией. При воздействии на образцы цельной крови ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO при уровне падающей мощности 1 мВт/см^2 на протяжении 15 мин в группе больных стабильной стенокардией в целом отмечалось увеличение ее вязкости как на высоких, так и на низких скоростях сдвига. Изменение статистически значимо при скоростях сдвига 200 и 50 с$^{-1}$. Наблюдалось статистически достоверное увеличение агрегационной способности эритроцитов в среднем на 3,04 % и тенденция к повышению жесткости их мембран (I_e ~ –1,56 %). При этом в 10,7 % случаев происходило снижение вязкости цельной крови, в 82,2 % отмечалось повышение ее и в 7,1 % случаев изменения отсутствовали. Таким образом, при увеличении падающей мощности облучения образцов цельной крови больных стабильной стенокардией происходило повышение стереотипности реакции на воздействие.



Выделение в группе с положительными I_e для вязкости цельной крови подгрупп с I_e до 10 % включительно, до 20 % включительно и более позволило определить направление и степень изменения вязкости цельной крови в зависимости от возраста пациента. Такая зависимость представлена в виде *U*-образной кривой. У пациентов с минимальным возрастом не обнаруживается изменений вязкости цельной крови при ее КВЧ-облучении в указанном режиме (см. рис. 6). Таким образом, с увеличением возраста повышается и вероятность изменения вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией под влиянием ЭМИ КВЧ на частоты МСПИ NO с временем экспозиции 15 мин и падающей мощностью 1 мВт/см^2

Нами было выявлено влияние исходного состояния пациента на выраженность и направленность изменений гемореологических параметров под воздействием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ NO в течение 15 мин при уровне падающей мощности 1 мВт/см^2. С увеличением вовлеченности коронарного бассейна в атеросклеротический процесс отмечался рост индекса эффективности для вязкости цельной крови при высоких скоростях сдвига с 5,8 % – при поражении одной артерии до 12,9 % – при поражении трех коронарных артерий.

Зависимость степени повышения вязкости крови от исходного количества форменных элементов аналогична таковой при КВЧ-облучении образцов цельной крови на частоте МСПИ O_2 в течение 15 мин, т. е. наиболее ярко выраженная зависимость отмечается от исходного количества эритроцитов, графическое изображение имеет *U*-образный характер, и минимальное повышение



вязкости отмечается при исходном количестве эритроцитов от 4,5 до $5{,}0 \cdot 10^{12}$/л.

Установлено, что 15-минутное КВЧ-облучение на частоте МСПИ NO при уровне падающей мощности 1 мВт/см^2 также приводит к увеличению прочности эритроцитарных агрегатов больных стабильной стенокардией. Зона суспензионной стабильности цельной крови больных стабильной стенокардией после облучения смещается в сторону более высоких скоростей сдвига.

При рассматриваемом режиме облучения прослеживается зависимость выраженности эффекта КВЧ-воздействия от исходной вязкости облучаемого образца как на высоких (200 с$^{-1}$), так и на низких (20 с$^{-1}$) скоростях сдвига. У образцов с исходной вязкостью на высоких скоростях сдвига более 5 мПа·с происходило отчетливое снижение вязкости цельной крови на 13,9 – 18,6 %. Аналогичная тенденция прослеживалась и в зависимости от исходной вязкости облучаемого образца на низких скоростях сдвига.

Отличия основной группы больных от группы сравнения по степени выраженности изменения гемореологических параметров были статистически недостоверны (p>0,05), однако отмечалась тенденция к увеличению индексов эффективности для цельной крови на высоких скоростях сдвига (200 с$^{-1}$) в группе больных стабильной стенокардией с синдромом артериальной гипертензии по сравнению с группой больных стабильной стенокардией без него.

При 30-минутном облучении нами была установлена тенденция к повышению уровня вязкости цельной крови в группе больных стабильной стенокардией в целом на всех исследованных скоростях сдвига, достигающая степени статистической значимости при высоких скоростях сдвига (200 с$^{-1}$) (I_e от 2,6 до 5%). Отмечалось повышение агрегационной способности эритроцитов (p = 0,051) (I_e ~ 2,15%). В то же время наблюдалось повышение жесткости эритроцитарных мембран (p = 0,053) на 0,55 %. В 80 % случаев вязкость цельной крови больных стабильной стенокардией статистически достоверно повышалась на 200; 100 и 50 с$^{-1}$ (I_e от 4,2 до 5,7 %), при этом происходило увеличение агрегационной способности эритроцитов, не достигающее уровня статистической значимости (I_e ~1,16%). В этой подгруппе отмечалось снижение пластичности эритроцитарных мембран на 0,66%.

Существенных отличий в прочности эритроцитарных агрегатов до и после КВЧ-облучения цельной крови больных стабильной стенокардией на частоте МСПИ NO с уровнем падающей мощности 3 мВт/см^2 и временем экспозиции 30 мин выявлено не было. Также диапазон скоростей сдвига, соответствующих зоне суспензионной стабильности цельной крови, существенно не отличался у образцов крови больных стабильной стенокардией до и после ЭМИ КВЧ в указанном режиме.

Наличие зависимости выраженности влияния ЭМИ КВЧ на уровень вязкости цельной крови и функциональные параметры эритроцитов от вязкости облучаемого образца установить не удалось, так как все больные этой группы имели исходную вязкость от 3 до 4 мПа·с (200 с$^{-1}$) и от 4 до 5 мПа·с (20 с$^{-1}$).

Зависимости выраженности и направленности изменения гемореологических параметров от исходной концентрации в крови общего холестерина, фибриногена и количества форменных элементов выявлено не было.

При оценке потенциальной способности ЭМИ КВЧ-диапазона к изменению гемореологических параметров облучаемого *in vitro* образца цельной крови, оцениваемой по индексу вариабельности частоты ЭМИ КВЧ располагаются в следующем порядке: 42,2; 129; 53,5; 150,1…150,6 ГГц.

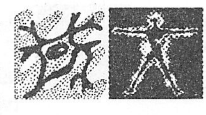
Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований отметим следующее:

- Влияние ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСПИ атмосферного кислорода (129 ГГц) на реологические свойства крови неоднородно: при 15- и 30-минутной экспозиции установлено понижение вязкости цельной крови, а при 60-минутной экспозиции – ее повышение в группах больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц. При этом первые две экспозиции вызывали разнонаправленные изменения агрегацион-

ной способности эритроцитов и деформируемости их мембран, а при 60-минутной – повышение агрегационной способности эритроцитов и незначительное увеличение пластичности эритроцитарных мембран.

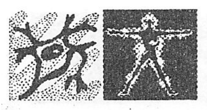
- Влияние ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСПИ NO (150,1…150,6 ГГц) на реологические свойства крови различно в зависимости от времени экспозиции и мощности облучения: увеличение времени облучения приводило, как правило, к более выраженному увеличению вязкости цельной крови больных стабильной стенокардии и практически здоровых лиц. Аналогичная закономерность выявлена при нарастании мощности излучения. При всех режимах воздействия ЭМИ на частоте МСПИ NO изменения функциональных параметров эритроцитов были разнонаправленными: установлено повышение агрегационной способности эритроцитов и понижение деформируемости их мембран.
- Влияние ЭМИ с частотами 42,2 и 53,5 ГГц на гемореологические параметры больных стабильной стенокардией и практически здоровых лиц заключается в повышении вязкости цельной крови, за счет увеличения агрегационной способности эритроцитов как у больных стабильной стенокардией, так и у практически здоровых лиц.
- Имеется существенная зависимость влияния ЭМИ КВЧ от количества форменных элементов периферической крови в исходном состоянии. Максимальная выраженность изменений реологических параметров цельной крови при воздействии ЭМИ указанного диапазона определяется оптимальным соотношением в крови эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов.



- Сравнительный анализ влияния ЭМИ КВЧ на «классических» частотах (42,2 и 53,5 ГГц) и частотах МСПИ NO и O_2 показал, что выраженность эффекта указанных частот ЭМИ КВЧ на реологические свойства крови увеличивается в направлении 42,2 → 129 → →53,5 → 150,1 – 150,6 ГГц.
- Степень выраженности изменения формы, размера, агрегационной способности эритроцитов, пластичности их мембран и цитометрических сдвигов обусловлены ростом падающей мощности и увеличением времени экспозиции ЭМИ КВЧ на всех изучаемых частотах и при всех режимах облучения.
- Влияние ЭМИ КВЧ различных частот на вязкость цельной крови зависит от распространенности атеросклеротического процесса в коронарных артериях и наличия артериальной гипертензии: с увеличением числа коронарных артерий, вовлеченных в атеросклеротический процесс, возрастают индексы эффективности для вязкости цельной крови, агрегационной способности эритроцитов и деформируемости их мембран; наличие артериальной гипертензии у пациента приводит к достоверно более высоким перечисленным параметрам.

🕮 Литература

1. *Киричук В.Ф., Паршина С.С.* Особенности воздействия различных режимов КВЧ-терапии на показатели гемостаза у больных стенокардией. – Сб. науч. работ под ред. *Н.Д. Девяткова* «Вопросы использования электромагнитных излучений малой мощности крайне высокой частоты в медицине». – Ижевск, 1991, с. 64-71.
2. *Лебедева А.Ю.* Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона в кардиологии. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 2, с. 49-54.
3. *Ушаков В.Ю.* Применение КВЧ-терапии при остром инфаркте миокарда. Дис. … докт. мед. наук. – Саратов, 2001.
4. *Логинов В.В., Русяев В.Ф., Туманянц Е.Н.* Влияние электромагнитного излучения КВЧ на эритроциты человека (in vitro). – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1999, № 1, с. 17-21.
5. *Подоляко В.А., Макарчик А.В., Янкелевич Ю.Д.* КВЧ-модуляция in vitro реологических свойств крови больных в остром периоде ишемического инсульта. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2000, № 4, с. 53-55.
6. *Ellsworth M.L.* The red blood cell as an oxygen sensor: what is the evidence? – Acta Physiol. Scand, 2000, v. 168, N 4, pp. 551-559.
7. *Dietrich H.H., Ellsowrth M.L., Sprague R.S.* et al. Red blood cell regulation of microvascular tone through adenosine triphosphate. – Am. J. Physiol, 2000 ,v. 278, Suppl. 4, pp. H1294-H1298.
8. *Bateman R.M.* Erythrocyte deformability is a nitric oxide-mediated factor in decreased capillary density during sepsis. – Am. J. Physiol, 2001, v. 280, Suppl. 6, pp. H2848-H2856.



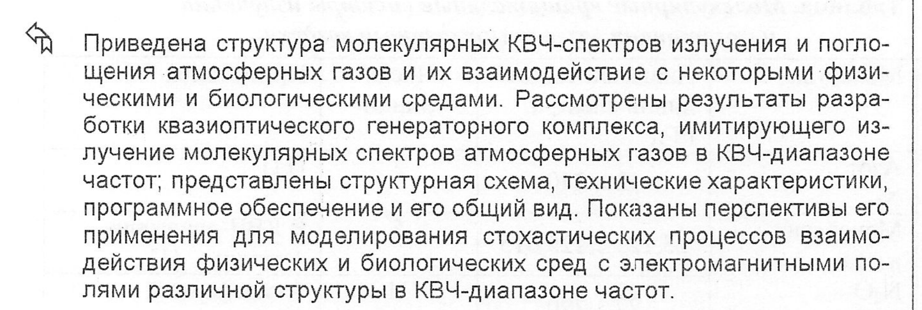
9. *Rischitzka F.T., Wenger R.H., Stallmach T. et* al. Nitric oxide prevents cardiovascular disease and determines survival in polyglobulic mice over expressing erythropoietin. – PNAS, 2000, v. 97, N. 21, pp. 11609-11613.
10. *Башаринов А.Е., Тучков Л.Г., Поляков В.М.* и др. Измерение радиотепловых и плазменных излучений в СВЧ-диапазоне. – М.: Сов. радио, 1968.
11. *Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991.
12. *Бецкий О.В., Девятков Н.Д., Кислов В.В.* Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 4, с. 13-29.
13. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2001, № 3, с. 5-18.
14. *Киричук В.Ф., Майбородин А.В., Волин М.В.* и др. Изменения функциональной активности тромбоцитов под влиянием электромагнитных КВЧ-колебаний на частотах молекулярных спектров поглощения и излучения оксида азота. – Вопросы медико-биологических наук. – Саранск: Изд-во Мордовского пед. ин-та, 2000, вып. 5, с. 13-21.
15. *Киричук В.Ф., Волин М.В., Майбородин А.В.* и др. Воздействие электромагнитных колебаний КВЧ-диапазона на частотах молекулярного спектра поглощения и излучения оксида азота на тромбоциты, как эффекторные клетки системы человека. – Миллиметровые волны в биодогии и медицине, 2001, № 2, с. 3-9.
16. *Гасанов Л.Г., Пясецький В.І., Писанко О.І.* Роль екологічного фактора взаємодії низькоінтенсивних електромагнітних полів надто високочастотного діапазону з організмом людиниио – Вісник АН УРСР, 1988, № 10, с. 33-38.
17. *Беляков С.В., Бецкий О.В., Яременко Ю.Г.* Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 3, с. 50-56.
18. *Киричук В.Ф., Малинова Л.И., Майбородин А.В.* и др. Влияние ЭМИ КВЧ-диапазона на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения атмосферного кислорода на реологические свойства крови больных стабильной стенокардией. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2001, № 4, с. 42-50.
19. КВЧ-терапия. – Методические рекомендации МТА КВЧ. – М., 1993.
20. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д.* и др. Панорамно-спектрометрический комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2001, № 8, с. 35-47.
21. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Трошин О.Ф., Тупикин В.Д.* Квазиоптический генератор молекулярных КВЧ-спектров излучения атмосферных газов. – Электронная промышленность, 2002, вып. 1, с. 100-109.
22. *Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрина Н.Х.* Реология крови. – М.: Медицина, 1982.
23. *Кручинский Н.Г., Тепляков А.И., Гапонович В.Н.* и др. Экспресс-оценка реологических свойств крови и методы коррекции их нарушений у пациентов с атеросклерозом. – Методические рекомендации МЗ РБ, 2000.
24. *Ройтман Е.В., Фирсов Н.Н., Дементьева М.Г.* и др. Термины, понятия и подходы к исследованиям реологии крови в клинике. – Тромбоз, гемостаз и реология, 2000, № 3, с. 5-12.
25. *Zimnyakov D.A., Simonenko G.V., Bashkatov A.N.* et al. Speciality-resolved Microspectrophotometry for Hair Optical Properties and Geometry Studies: CCP Hair Tester. – Proc. of SPIE, 2001, v. 4244, pp. 421-424.
26. *Анго А.* Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1970.
27. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.:Наука, 1986.
28. *Волькенштейн М.В.* Биофизика. – М.: Наука, 1988.
29. *Nollert M.U., Eskin S.G., McIntire L.V.* Shear stress increases inositol triphosphate levels in human endothelial cells. – Biochem. Biophys. Res. Commun, 1990, v. 170, pp. 281-287.
30. *Prasad A.R., Logan S.A., Nerem R.M.* et al. Flow-related responses of intracellular inositol phosphate levels in cultured aortic endothelial cells. – Circ. Res., 1993, v. 72, pp. 827-836.
31. *Kuchan M.J., Frangos J.A.* Shear stress regulates endothelin-1 release via protein kinase C and cGMP in cultured endothelial cells. – Am. J. Physiol., 1993, v. 264, pp. H150-H156.
32. *Frangos J.A., Huang T.Y., Clark C.B.* Steady shear and step changes in shear stimulate endothelium via independent mechanism – superposition of transient and sustained nitric oxide production. – Biochem. Biophys. Res. Commun., 1996, v. 270, pp. C546-C551.
33. *Kuchan M.J., Frangos J.A.* Role of calcium and calmodulin in flow-induced nitric oxide production in endothelial cells. – Am. J. Physiol., 1994, v. 266, pp. C628-C636.
34. *Плеханов Г.Ф., Васильев Н.В., Козлова Т.И.* и др. Зависимость реакции биосистемы на раздраджитель от ее исходного состояния. – Бюлл. Сиб. отд. АМН СССР, 1989, № 2, с. 83-86.

Поступила 25 декабря 2002 г.

УДК 538.573.61; 577.359;582.232;615.814.1;615.471

Квазиоптический КВЧ генераторный комплекс моделирования детерминированных шумов для биофизических исследований

А.П. Креницкий, А.В. Майбородин, О.В. Бецкий, О.Ф. Трошин, В.Д. Тупикин, В.Ф.Киричук



Приведена структура молекулярных КВЧ-спектров излучения и поглощения атмосферных газов и их взаимодействие с некоторыми физическими и биологическими средами. Рассмотрены результаты разработки квазиоптического генераторного комплекса, имитирующего излучение молекулярных спектров атмосферных газов в КВЧ-диапазоне частот; представлены структурная схема, технические характеристики, программное обеспечение и его общий вид. Показаны перспективы его применения для моделирования стохастических процессов взаимодействия физических и биологических сред с электромагнитными полями различной структуры в КВЧ-диапазоне частот.

Structure of the molecular EHF spectra radiation and absorption of atmospheric gases and their interaction with some physical and biological media is given. Results of development of a quasi-optical generator complex simulating radiation of molecular spectra of atmospheric gases in EHF frequency range are considered. The block scheme, performances, software, and the general view are presented. The perspectives of its using for modeling the stochastic process of interaction of physical and biological media with electromagnetic fields of different structure in EHF frequency range are demonstrated.

Введение

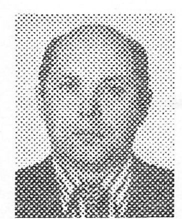
Теоретические и экспериментальные исследования последнего десятилетия по физике взаимодействия КВЧ-волн с биологическими и физическими средами [1–3] показывают, что эффекты взаимодействия зависят от структуры электромагнитного поля, спектрально-молекулярных свойств окружающей среды (атмосферного воздуха, газов, аэрозолей и т. д.) [2], от фазы молекулярного развития исследуемой биологической среды или структурно-молекулярного состояния физической среды [3, 5].

Рассмотрим спектрально-молекулярное информационное взаимодействие между газами атмосферы и биологическими средами [5]. Для этого необходимо знать структуру спектров излучения атмосферных газов в КВЧ-диапазоне.

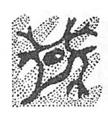
Земная атмосфера излучает и поглощает электромагнитные волны практически на всех длинах волн, однако эти процессы становятся несущественными на длинах волн, больших 3 см [5].

Александр Павлович Креницкий —
см. с. 3

Анатолий Викторович Майбородин —
см. с. 4

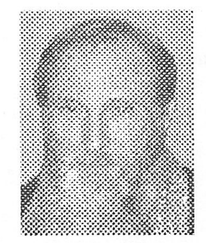


Олег Владимирович Бецкий —
докт .физ.-мат. наук, проф., зав. лабораторией ИРЭ РАН, ген. директор Медико-технической ассоциации КВЧ (Москва), лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники. Научные интересы: электроника СВЧ и КВЧ, исследование механизмов взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных ММ-волн с биологическими объектами



Характеристики КВЧ-спектров (30…300 ГГц) излучения и поглощения для некоторых молекул атмосферы, обладающих постоянными дипольными моментами, приведены в таблице, ссылки на литературу в которой [1, 4, 5, 11] указаны в [5]. Некоторые частоты спектра находятся вне КВЧ-диапазона. В данной таблице представлены расчетные и экспериментальные КВЧ-спектры (см. ссылки на литературу), указаны также КВЧ-спектры чистого газа и КВЧ-спектры этих газов в составе атмосферы. Это важно, так как от этого зависят подходы к изучению взаимодействия с биологическими средами.

Указанные КВЧ-спектры газов могут изменяться в зависимости от давления и температуры. Необходимо также учитывать динамику межмолекулярного взаимодействия газов атмосферы [6].



Олег Филиппович Трошин — начальник лаборатории ОАО ЦНИИИА.
Научные интересы: программирование математических моделей для автоматизации научных экспериментов

Владимир Дмитриевич Тупикин — см. с. 5

Вячеслав Федорович Киричук — см. с. 4

Таблица. ***Молекулярные вращательные спектры излучения и поглощения газов атмосферного воздуха***

Молекула	Диапазон частот линий спектра, ГГц	Число линий	Примечания
Азот N_2	120; 240	2	[11]
Монооксид азота N_2O	25,123…125,615	5	В КВЧ-диапазоне 4 линии [1]
	27…290	11	Атмосферный [4, 5]
Оксид азота NO	150,176…150,644	10	[1]
	125…260	11	Атмосферный [4, 5]
Кислород O_2	47,123…118,74	49	[1]
	55…63; 121…130	2 полосы	Атмосферный [4, 5]
Озон O_3	42…300	23	Атмосферный [4, 5]
Диоксид углерода CO_2	120; 250	2	Атмосферный [4, 5]
Оксид углерода CO	115,794…463,382	4	В КВЧ-диапазоне 2 линии [1]
Пары воды H_2O	22…866	8	В КВЧ-диапазоне [4] – наиболее интенсивных 3 линии
	25; 180	2	Атмосферный [4, 5]
Гидроксил OH	1,665…36,983	11	В КВЧ-диапазоне [4] находится одна линия 36,983 ГГц
Водород H	52,7…0,82	6	В КВЧ-диапазоне одна линия 52,7 ГГц для квантового числа n=50 [4, 5]

Молекулярные КВЧ-спектры излучения возникают в молекулах при энергетических переходах с верхних уровней на нижние. Такой переход связан с вращательной составляющей полной энергии молекулы [1, 5]; уровень в КВЧ-диапазоне энергии кванта составляет $10^{-3} \ldots 10^{-4}$ эВ.

Спектры КВЧ спонтанных излучений молекул складываются в основном не когерентно, при вынужденном взаимодействии с искусственными КВЧ-полями сложение может быть когерентным.

Излучение атмосферы представляет собой суммарный сигнал молекулярных спектров излучения газов, в том числе и в КВЧ-диапазоне, на который накладываются естественные и искусственные излучения взаимодействующих с атмосферой физических и биологических сред. Причем спектры излучения и поглощения в соответствии с [6] имеют разные структуры колебаний: излучение атмосферы носит шумовой характер.

Аналогичные процессы происходят и в биологических средах, в которых в результате биохимических процессов преобразуются молекулярные спектры веществ, участвующих в метаболизме [7]. Таким образом, происходит информационный обмен в природе между физическими и биологическими средами. Причем в качестве информационного кода взаимодействия могут служить частоты молекулярных КВЧ-спектров [5, 7].

При исследовании взаимодействия КВЧ-поля со средами с помощью стандартных прямоугольных волноводов, работающих на основной волне H_{10} и E_{11}, экспериментаторы сталкиваются с проблемой чувствительности приемников при измерении параметров среды (например, отраженная, поглощаемая и прошедшая через среду мощность). Дело в том, что структура молекулярных спектров излучения и поглощения сред имеет в своем составе различные типы колебаний с разными поляризациями [8]. Поэтому эффекты взаимодействия таких полей с плоскими волнами будут слабыми. Для повышения эффективности взаимодействия среды и поля необходимо использовать многомодовые волноведущие структуры, например, квазиоптический тракт, и возбуждать в нем КВЧ-поле, имитирующее структуру молекулярных спектров излучения и поглощения конкретного вещества [9].

Возбуждая молекулярный атмосферный газ, например, кислород на частотах в диапазонах 55…63 ГГц; 121…130 ГГц или его соединения с азотом на частотах 149…152 ГГц (таблица), можно обеспечить управление его реакционноспособностью в процессе взаимодействия атмосферного воздуха с биологическими средами. Дыхание живых объектов возбужденными КВЧ-полем молекулами газов атмосферного воздуха является одним из механизмов коррекции их физического состояния [2].

Для селективного молекулярного возбуждения («накачки») конкретного газа атмосферного воздуха необходимо создать генератор, имитирующий спектр молекулярного излучения этого газа. Такая задача может возникнуть, например, при создании физиотерапевтической аппаратуры для КВЧ-терапии, основанной на селективном повышении реакционной способности газов и лекарственных аэрозолей, в том числе и атмосферных газов, путем их молекулярного возбуждения («накачки») внешним КВЧ-полем на частотах их молекулярных КВЧ-спектров поглощения и последующего их введения в дыхательную систему [2].

Для экспериментального моделирования стохастического резонанса, как фундаментального физического явления, который может быть использован в медико-технических исследованиях, необходимо создать генератор шумового сигнала с управляемой структурой шума – законы распределения частот, амплитуд и поляризаций в спектре выходного сигнала [2, 3]. Необходимость такого генератора также возникает при исследовании воздействия КВЧ-поля на биологические среды. Так, например, экспериментально установлена зависимость эффективности воздействия на клетки *E. Coli* и тимоцитов крыс Вистара КВЧ-волн, имеющих различные поляризацию (левую круговую или правую круговую), структуру КВЧ-спектров и точность установки частоты, параметры модуляции, уровни мощности, время воздействия и др. [4]. Экспериментально установлено также, что наибольший эффект взаимодействия между КВЧ-полем и бактериями, имеющими форму “нитей”, возникает, когда поляризация вектора **E** и плоскость поляризации КВЧ-поля обеспечивают его направление вдоль бактерии.

Кроме того, при исследовании *in vitro* воздействия КВЧ-поля на частоте молекулярного вращательного спектра излучения и поглощения оксида азота (150,1…150,6 ГГц) на тромбоци-

тарную плазму крови человека экспериментально установлено, что способность тромбоцитов к агрегации уменьшается при облучении тромбоцитарной плазмы в квазиоптическом полом диэлектрическом волноводе круглого сечения, где распространяется основная волна EH_{11} с круговой поляризацией [5]. Необходимо также отметить, что спектр амплитудных и фазовых флуктуаций облучающего генератора на лампе обратной волны (ЛОВ) имел фрактальное распределение [2, 10].

Как было показано в работах [3, 5, 11], при взаимодействии водных сред и атмосферы с КВЧ-полем на резонансных частотах, свойственных для этих сред, происходит преобразование энергии КВЧ-поля в низкочастотные фазовые шумы (флуктуации) в среде, которые подчиняются закону $1/f^{\beta}$ с гауссовским распределением амплитуды. Такие флуктуации принято называть «$1/f^{\beta}$-шумами". В дальнейшем аналогичные флуктуации, подчиняющиеся закону "$1/f^{\beta}$", были найдены, кроме электроники и биофизики, в самых различных системах (классическая музыка, гео- и астрофизические явления, экономика, лингвистика). На сегодняшний день этот глобальный гиперболический закон, доминирующий в окружающем мире, принято называть *фрактальным* [11]. Создается аппаратура физиотерапии с использованием сигналов, имеющих спектр низкочастотных флуктуаций "$1/f^{\beta}$", как сигналов, являющихся фундаментальными ритмами природы [12].

Квазиоптический КВЧ генераторный комплекс моделирования детерминированных шумов для биофизических исследования

Для формирования КВЧ-поля, отвечающего данным требованиям, необходимо использовать многомодовые КВЧ-линии передачи и преобразователи структуры КВЧ-поля, применяя существующие монохроматические (или) шумовые источники КВЧ-колебаний.

Наиболее удобной линией передачи для формирования КВЧ-поля с указанными свойствами является квазиоптическая линия и выполненные на ее основе квазиоптические узлы, обеспечивающие управление структурой облучающего КВЧ-поля.

Для исследования взаимодействия физических и биологических сред с КВЧ-полями различной структуры (поляризация векторов **E**, **H** плоскости поляризации, закон изменения частоты, режимы амплитудной модуляции, мощность излучения, время облучения среды и т. д.) в ОАО "Центральный научно-исследовательский институт измерительной аппаратуры" – ЦНИИИА (г. Саратов) разработан образец стохастического квазиоптического программируемого КВЧ-генератора, работающего в диапазоне частот молекулярных спектров газов атмосферного воздуха. Блок-схема генератора представлена на рис. 1, где *1* – ЭВМ IBM PC; *2* – контроллер КОП IEEE 488; *3* – коннектор E 162690-AWM2651; *4* – генераторы качающейся частоты 170…270 ГГц, 118…170 ГГц, 78…118 ГГц, 53,7…78 ГГц; *5* – направленный ответвитель ГКЧ; *6*, *18*, *19* – комплект детекторных головок в диапазонах 53,7…270 ГГц; *7* – возбудители типов волн и поляризаций; *8*, *10*, *12*, *14* – лучеводы 3.569.362; *9* – модулятор 3.541.520; *11* – поляризатор 3.680.032; *13* – вращатель плоскости поляризации 3.567.055; *15* – направленный ответвитель 3.587.010; *16*, *17* – волноводно-лучевые переходы 3.562.623-01…04; *20* – нагрузка согласованная 3.580.126. Общий вид генератора показан на рис. 2.

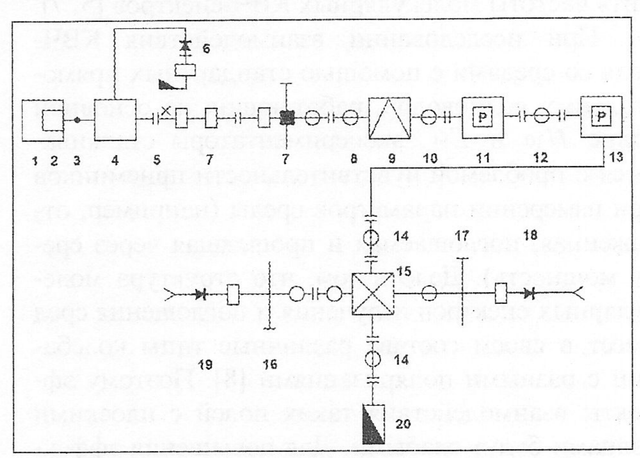


Рис. 1. Квазиоптический генератор молекулярных КВЧ-спектров атмосферных газов

Для имитации излучения молекулярных спектров атмосферных газов на выходе генератора должна формироваться средняя по всем поляризациям мощность P_{xyz}, определяемая выражением [9, 13]

$$P_{xyz} = mhf_n\omega_{xyz},$$

где m – количество квантов в заданном объеме атмосферного воздуха; h – постоянная Планка; f_n – частоты молекулярных спектров атмосферных газов; ω_{xyz} – вероятность излучения молекулой квантов энергии за секунду с заданными типом колебаний и поляризаций.

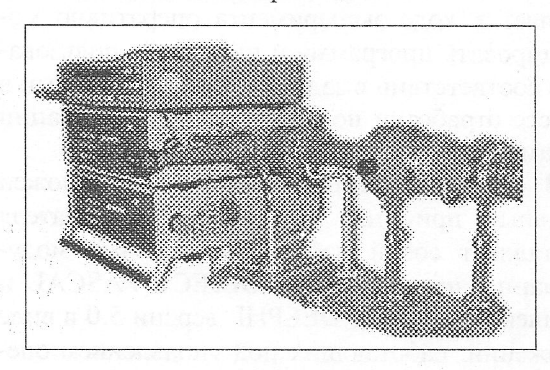


Рис. 2. Общий вид квазиоптического программируемого КВЧ-генератора

Если молекулярный КВЧ-спектр конкретного газа имеет n линий (частот), то в соответствии с [9] распределение этих частот во времени может быть, например, пуассоновским, хотя закон распределения частот молекулярных КВЧ-спектров излучения и поглощения может быть выбран в зависимости от задач эксперимента. Например, для создания сигнала со спектром низкочастотных флуктуаций "$1/f^{\beta}$" требуется гауссовское распределение амплитуд в спектре. Значение m и, следовательно, мощности излучения генератора зависит от температуры, давления, скорости потока и объема возбуждаемого атмосферного воздуха и регулируется с помощью специальной квазиоптической системы.

В качестве источника КВЧ-мощности используются программируемые генераторы качающейся частоты (ГКЧ) типа Г4-161 с волноводными выходами сечений 3,6×1,8; 2,4×1,2; 1,1×0,55 мм, перекрывающие диапазон частот 53,7…270 ГГц. Управление ГКЧ осуществляется от ЭВМ PC Pentium III через контроллер КОП IEEE 488. В схеме стабилизации мощности на выходе используются направленный ответвитель *5* и детектор *6*, выполненные в волноводных каналах соответствующих частот. Квазиоптический тракт состоит из возбудителей типов волн и поляризации *7* и волноводно-лучевых переходов *16,17*, амплитудного модулятора *9*, соединенного с лучеводом *8* и поляризатором *11* через лучеводы *8* и *10*. Выход поляризатора *11* соединен с вращателем плоскости поляризации *13*, выход которого подключен через лучевод *14* к квазиоптическому рефлектометру *15*. Плечи последнего соединены через волноводно-лучевые переходы *17* и *16* с детекторами *18* и *19* соответственно. Одно из плеч рефлектометра нагружено на квазиоптическую нагрузку *20*. Детекторные головки *18* и *19* подключаются к анализатору спектра типа, например, СК4-97, СК4-56 при работе генератора в режиме амплитудной модуляции ГКЧ или модулятора *9*. Закон распределения частот и уровня мощности в спектре излучения генератора устанавливается с помощью ЭВМ и разработанного программно-математического обеспечения (ПМО).

Параметры изготовленных в ОАО ЦНИИИА квазиоптических узлов, входящих в КВЧ-тракт генератора, и их электродинамические характеристики приведены в [2].

В качестве возбудителей *7* в квазиоптическом полом диэлектрическом волноводе *8* типов волн и поляризаций используют преобразователи поляризаций и трансформаторы типов волн.

Программируемый по частоте и амплитуде сигнал с выхода (волновод прямоугольного сечения) ответвителя *5* поступает на возбудитель типа волн и поляризаций *7* и после преобразования возбуждает соответствующий тип колебания и поляризации в квазиоптическом тракте генератора в диапазоне частот 53,7…270 ГГц.

Квазиоптическая лучеводная линия передачи с набором функциональных узлов позволяет осуществлять построение самых разнообразных измерительных схем, в том числе при диагностике газоразрядной плазмы, измерении параметров диэлектриков и полупроводников, контроле биологических сред, а также в радиоастрономии и радиолокации [1].

Следует отметить ряд важных свойств квазиоптического тракта, работающего в КВЧ-диапазоне. В нем распространятся все типы колебаний TE_{0m}, TM_{0m}, EH_{nm}. Наименьшим затуханием обладает гибридная волна EH_{11}. Поэтому квазиоптический тракт хорошо имитирует свободное пространство, где можно возбудить КВЧ-поля молекулярных спектров излучения и поглощения газов атмосферного воздуха.

Исследуемый объект помещается вместо нагрузки 20 или непосредственно в квазиоптиче-

скую нагрузку 20 (см. рис. 1) [2, 3]. При исследовании биологических и физических сред в виде плоского капилляра, его помещают в квазиоптический рефлектор (направленный ответвитель *15*), с помощью которого можно измерять падающую, отраженную и прошедшую через среду мощности с помощью детекторов *18* и *19*. При изменении поляризации сигнала детекторы могут изменять поляризацию приема сигнала с помощью вращающегося сочленения. Ручное управление поляризацией или плоскостью поляризации сигнала, падающего на исследуемый объект, обеспечивают поляризаторы *11*, *13*. Структура поля в квазиоптическом тракте формируется возбудителем *7*.

Для формирования сигнала фрактального распределения $1/f^{\beta}$ ГКЧ включается в режим непрерывной генерации на фиксированной частоте, выбранной для проведения эксперимента. При этом спектральная плотность $P(f)$ низкочастотных флуктуаций ГКЧ может быть представлена выражением [5, 10]

$$P(f) = k / f^{\beta},$$

где β – показатель степени, изменяется в пределах от 0,8 до 1,5.

Этот сигнал выделяется в соответствии с блок-схемой для измерения фазовых флуктуаций [5] с использованием детектора, полосового фильтра и усилителя низкой частоты. Полоса фильтра выбирается в зависимости от типа используемого источника СВЧ-сигнала в ГКЧ (ЛОВ, клистрон, диод Ганна), для которых спектр фазовых флуктуаций с фрактальным распределением, а следовательно и полоса фильтра, находятся при отстройке от несущей частоты от десятков герц до 3 кГц (отражательный клистрон), 100 кГц (ЛОВ), 300 кГц (диод Ганна) [10].

Выделенный низкочастотный сигнал с фрактальным распределением используется для амплитудной модуляции КВЧ-сигнала с выхода возбудителя 7 (см. рис. 1).

Програмное обеспечение

Решение задачи автоматизации экспериментов существенно упрощается при использовании средств вычислительной техники, которые способны взять на себя выполнение наиболее сложных и трудоемких функций системы.

При разработке программного обеспечения экспериментального образца данной системы предпочтение было отдано традиционным методикам разработки приложений WINDOWS в среде DELPHI, которые вполне доступны пользователю-экспериментатору. Работа в среде DELPHI позволяет в ходе эксперимента оперативно модифицировать программу и интерфейс пользователя в соответствии с задачами, возникающими в процессе отработки новых методик и адаптации программы к новым объектам исследования.

В основу разработки программы положен модульный принцип. Программа пользователя представляет собой набор программных модулей, написанных на языке OBJECT PASCAL и оформленных в среде DELPHI версии 5.0 в виде приложений, работающих под управлением операционной системы WINDOWS.

Обмен данными осуществляется с помощью драйвера KOP.BIN, который поддерживает стандартный протокол обмена Канала общего пользования в соответствии с требованиями ГОСТ 26.003-80 (СТ. СЭВ 2740-80).

В состав технических средств исследовательского комплекса входит IBM-совместимый персональный компьютер с процессором PENTIUM-III и сопроцессором плавающей точки, оперативной памятью 64 мБ, жестким диском емкостью не менее 4,3 гБ, видеокартой 4 мБ, обеспечивающей разрешение не менее 800х600 точек при цветовой палитре True Color (24 bit).

В комплект ЭВМ PC входят монитор с диагональю 15″, CD-ROM, накопитель на гибком магнитном диске 3,5″, клавиатура, манипулятор “мышь” и звуковая карта.

Для отображения полученных результатов исследования в графическом виде на бумажном носителе используется лазерный принтер с разрешением 600 точек на дюйм, обеспечивающий вывод на один лист совмещенных графиков с кодировкой цветов градациями серого.

Для осуществления обмена информацией в состав технических средств комплекса входит также плата контроллера КОП фирмы «Сигнал» – модель КОП (IEEE488). Плата устанавливается непосредственно в ЭВМ PC в свободный слот шины ISA.

Основной модуль рабочей программы поддерживает автоматическое выполнение всех функций ГКЧ, приведенных в конце статьи.

Кроме того, программа позволяет оператору:

- устанавливать и генерировать любые дискретные значения частоты в пределах рабочего диапазона генератора, что необходимо при калибровке генератора по частотомеру;
- управлять запуском автоматического цикла (сеанса) и осуществлять при необходимости его экстренный останов;
- инициировать процедуры распечатки на принтере графиков и карты параметров проведенного эксперимента или сеанса.

Модуль обеспечивает индикацию прохождения автоматических процессов и результатов их выполнения. По завершении сеанса оператору выдается сообщение и звуковой сигнал.

Специальная функция программы – моделирование регулярного ординарного потока случайных событий, распределенных по заданному закону (Пуассона и фрактального $1/f^{\beta}$).

При проведении экспериментов со сложными биологическими системами такими событиями являются частоты молекулярных спектров поглощения и излучения атмосферных газов, воспроизводимые программируемым генератором.

Программа обеспечивает генерацию указанных потоков, оперативное управление основным параметром распределения (математическое ожидание – МО), а также статистический анализ совокупности генерируемых частот с целью проверки адекватности их распределения заданному закону.

Пример гистограммы случайной выборки при МО=3, полученной по результатам сеанса длительностью 5 мин, представлена на рис. 3 (закон Пуассона).

Проверка гипотезы о принадлежности этой случайной выборки генеральной совокупности распределения Пуассона, выполненная с использованием критерия Колмогорова, подтверждает достоверность гипотезы при данном объеме выборки.

Рабочая программа представляет собой пакет, состоящий из загрузочного модуля приложения WINDOWS, драйвера платы контроллера Канала общего пользования и файлов инициализации, в которых записаны используемые по умолчанию параметры генератора, номиналы частот заданных спектров газов и параметры эксперимента. При необходимости все эти параметры, кроме номиналов частот, могут быть изменены в текущем сеансе работы прямо из открытого приложения. Номиналы частот спектров содержатся в текстовых файлах Spectr-N.txt и Spectr-O.txt, входящих в состав пакета. Их можно изменить либо уточнить, отредактировав эти файлы в системном редакторе текста.

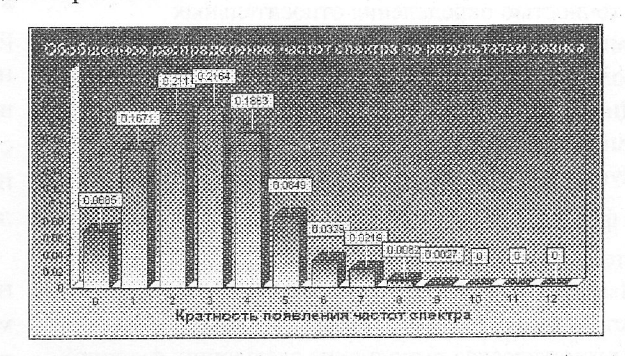


Рис. 3. Гистограмма случайной выборки распределения Пуассона при МО=3.

Разработанная программа автоматизации экспериментов при проведении исследований взаимодействия КВЧ-полей и сред позволяет повысить производительность методик исследования и объективность полученных результатов.

Возможность накопления, систематизации и оперативного использования полученных данных, обеспечиваемая применением средств вычислительной техники, должна способствовать повышению эффективности исследований и ускорению внедрения их результатов в практику.

Технические характеристики стохастического квазиоптического КВЧ генераторного комплекса для биофизических исследований

Рабочий диапазон частот генераторов, ГГц .... 53,7…270

Точность измерения мощности прибором М3-75, % .... 6…15

Рабочий диапазон частот квазиоптического тракта, (в диапазоне от 53,7 до 118 ГГц затухание уменьшается пропорционально f^2), ГГц .... 53,7…600

Возбуждаемые типы волн .... TM_{0m}, TE_{0m}, EH_{nm}

Поляризация линейная волн E и H , град .... 0…90

Коэффициент эллиптичности преобразования поляризации волн E и H из линейной в правую (левую) круговую 0,95

Вращение плоскости поляризации, град .... 0…360

Точность определения частоты в тракте .... 10^{-3}



Пределы регулировки мощности, дБ….0…25
Спектральный состав КВЧ-сигнала определяется на частоте амплитудной модуляции с помощью анализатора спектра СК4-56 (СК4-97) и квазиоптического волномера:
с точностью определения частот компонент спектра .... 10^{-3}
с точностью определения относительных амплитуд компонент спектра различных поляризаций, дБ .... ±0,5
Динамический диапазон измерения амплитуд спектра, дБ... 80
Чувствительность измерения амплитудных и фазовых флуктуаций “ $1/f^{\beta}$ ” на частоте отстройки 10 кГц, минус дБ/Гц 120
Изменение поляризации приема сигнала детекторных головок, град .... 0…360
Автоматическое выполнение следующих функций:
формирование массивов частот и амплитуд молекулярных спектров атмосферных газов в соответствии с таблицей
по законам Пуассона, Гаусса, фрактальному $1/f^{\beta}$
управление выходной мощностью генератора, дБ .... 0…25
задание времени эксперимента, с...... $3\cdot10^{2}…3{,}6\cdot10^{3}$
управление частотой амплитудной модуляции, Гц... $10…10^{5}$

Заключение

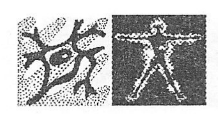
Кроме перечисленных выше применений для биофизических исследований генераторный комплекс может быть также использован для разработки систем радиолокации и связи, изучения законов распространения миллиметровых волн различных типов, поляризаций и структур спектров в земной атмосфере, определения полос поглощения и «окон прозрачности», обусловленных наличием различных газов в атмосфере.

Разработанный квазиоптический генераторный комплекс КВЧ-диапазона может быть применен для реализации нового способа КВЧ-терапии с использованием как монохроматических волн, так и детерминированных шумовых сигналов [2], основанного на тонком молекулярном управлении основным, естественным, природным процессом жизнедеятельности на Земле – дыханием, который можно назвать «КВЧ-аэротерапия».

🕮 Литература

1. *Бецкий О.В., Яременко Ю.Г.* Миллиметровые волны и перспективные области их применения. – Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, № 5, 2002.
2. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Бецкий О.В.* Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 5-6.
3. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И.* Стохастический резонанс и проблема воздействия слабых сигналов на биологические системы. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, № 32 (27).
4. *Belyaev, I.Y., Shcheglov, V.S., Alipov, E.D., Ushakov, V.D.* Nonthermal Effects of Extremely High-Frequency Microwaves on Chromatin Conformation in Cells in Vitro-Dependence on Physical, Physiological, and Genetic Factors. – IEEE transactions on microwave theory and techniques, 2000, v. 48, № 11, November.
5. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д.* и др. Панорамно-спектрометрический комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2001, № 8, с. 6-15.
6. *Маляренко А.М., Фомин В.В.* Индуцированные столкновениями спектры поглощения простейших молекулярных систем. – Спектральные проявления межмолекулярных взаимодействий в газах. – Новосибирск: Наука, 1982, с. 100-127.
7. *Зилов В.Г., Судаков К.В., Эпштейн О.И.* Элементы информационной биологии и медицины. – М.: МГУЛ, 2000.
8. *Люиселл У.* Излучение и шумы в квантовой электронике: Пер. с англ. – М.: Наука, 1972.
9. *Hadjiloucas, S., Karatzas, L.S., Bowen, J.W.* Measurements of Leaf Water Content Using Terahertz Radiation. IEEE Trans. on microwave theory and techniques, 1999, v. 47. № 2, February.
10. *Манасевич В.* Синтезаторы частот. Теория и проектирование: Пер. с англ. под ред. *А.С. Галина*. – М.: Связь, 1979.
11. *Шрёдер М.* Фракталы, хаос, степенные ряды (миниатюры из бесконечногро рая). – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001
12. *Быстров М.В.* Гармония техносферы и быта на основе универсальных “ $1/f$ флуктуаций”. – Научное приборостроение, 2001, т. 11, № 4, с. 88-89.

УДК 583.573.61; 577.359; 582.232; 618; 636.2



Влияние электромагнитных КВЧ-колебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональное состояние эритроцитов крови животных

В.С. Авдеенко, И.И. Калюжный, А.П. Креницкий, А.В. Майбородин, В.Д. Тупикин

Впервые изучено воздействие электромагнитного КВЧ-поля на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода в условиях in vitro на функциональную активность эритроцитов животных. Установлено изменение числа эритроцитов и их свойств. Обнаружено гемолизирующее действие ЭМИ КВЧ (129 ГГц) на эритроциты, находящиеся в контакте с атмосферным воздухом.

For the first time, the influence of an electromagnetic EHF field at the frequencies of atmospheric oxygen's molecular absorption spectrum in vitro conditions on the functional activity of erythrocyts of animals was studied. Variations of the number of erythrocyts and their properties observed. It was found the hemolizing action of EHF electromagnetic radiation (129 GHz) on erytrocyts being in contact with the atmospheric air.

Введение

Теоретические и экспериментальные исследования по физике информационного взаимодействия КВЧ-волн с биологическими средами показывают эффективность их применения в КВЧ-терапии [1]. Возможность использования частот молекулярного спектра поглощения атмосферных газов в КВЧ-терапии предложено в работах [2–5].

В настоящее время в медицинской практике применяют КВЧ-приборы, работающие на частотах, близких к частотам первого диапазона селективного поглощения атмосферного кислорода 50…65 ГГц [4]. Однако в ветеринарной практике проведены только поисковые работы, направленные на отработку приемов и возможности применения КВЧ-излучений для лечения животных в животноводческих помещениях. В этих работах выяснено влияние электромагнитного поля на гемопоэз и иммунобиологический статус животных [6].

На сегодняшний день выпускается и используется широкая номенклатура КВЧ-аппаратов для КВЧ-терапии [1], однако специализированная КВЧ-аппаратура для ветеринарной практике пока не разработана.

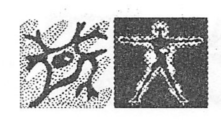


Владимир Семенович Авдеенко —
докт. ветеринарных наук, Заслуженный ветеринарный врач РФ, академик МАНЭБ, профессор Саратовского гос. аграрного ун-та им. Н.И. Вавилова.
Научные интересы: физиология и патология репродукции животных, КВЧ-терапия заболеваний сельскохозяйственных и домашних животных



Иван Исаевич Калюжный —
докт. ветеринарных наук, Заслуженный ветеринарный врач РФ, профессор Саратовского гос. аграрного ун-та им. Н.И. Вавилова.
Научные интересы: изучение метаболизма во внутренних органах животных, КВЧ-терапия заболеваний сельскохозяйственных и домашних животных

Александр Павлович Креницкий —
см. с. 3



Анатолий Викторович Майбородин —
см. с. 4

Владимир Дмитриевич Тупикин —
см. с. 5

Специфика конструкции лечебной КВЧ-аппаратуры для сельскохозяйственных животных и методов лечения заключается в том, что необходимо учитывать условия содержания животных в различное время года, поведение их в процессе лечения и диагностики заболевания с помощью лечебно-диагностической КВЧ-аппаратуры, а также факторы согласованного, прогнозируемого взаимодействия в системе "человек – КВЧ-аппаратура – животное".

Исследование возможности использования в ветеринарной практике существующей аппаратуры для КВЧ-терапии показало, что использование ее ограничено из-за конструктивной неприспособленности для лечения животных, поэтому требуется конструктивная доработка как самих приборов, так и места для проведения лечения животного. Наиболее перспективным методом лечения КВЧ-полем является создание аппаратуры дистанционного облучения животного с помощью квазиоптических направленных антенн, фокусирующих пучок КВЧ-волн на заданном месте тела животного. Естественно, мощность КВЧ-генератора должна обеспечивать заданную плотность мощности, падающей на животное.

Новый способ, наиболее удобный для лечения животных, заключается в использовании КВЧ-терапии, основанной на селективном повышении реакционной способности газов, в том числе лекарственных аэрозолей и атмосферных газов (например, кислорода в животноводческих помещениях), их молекулярного возбуждения путем «накачки» КВЧ-полями на частотах молекулярных спектров поглощения и излучения (МСПИ) этих газов и введения в дыхательную систему [2, 7] путем обычного дыхания животного возбужденным КВЧ-полем газом (например, кислородом атмосферного воздуха).

Такой способ лечения требует специальной квазиоптической КВЧ-аэроаппаратуры. Кроме того, необходимы исследования воздействия КВЧ-волн на биологические системы и на находящиеся с ними в контакте газы атмосферного воздуха.

В связи с этим была поставлена задача – изучить влияние электромагнитных КВЧ-колебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональное состояние эритроцитов у животных (*in vitro*) при контакте их с атмосферным воздухом.

Саратовским государственным аграрным университетом им. Н.И. Вавилова совместно с ОАО ЦНИИИА (г. Саратов) проведены работы по исследованию влияния КВЧ-волн на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональные параметры крови животных. Эксперименты проводились *in vitro* при контакте атмосферного воздуха с кровью.

При изучении взаимодействия ЭМИ КВЧ с эритроцитами *in vitro* получены убедительные доказательства влияния этого излучения на кислород – транспортную функцию эритроцитов [2, 3, 6].

В ОАО ЦНИИИА (г. Саратов) разработан квазиоптический генератор молекулярных КВЧ-спектров излучения атмосферных газов, работающий в диапазоне частот 53,7…270 ГГц, позволяющий моделировать процессы взаимодействия физических и биологических сред с электромагнитными полями различной структуры (типы коле-

баний и поляризаций, спектральный состав, виды амплитудной и частотной модуляции) [7].

Квазиоптический программируемый генератор позволяет возбуждать в пространстве следующие типы волн: TM_{0m}, TE_{0m}, EH_{nm}, создавать линейно поляризованные волны E, H, а также волны с круговой (левой или правой) поляризацией, а также автоматически проводить формирование массивов частот и амплитуд молекулярных спектров всех газов атмосферы по законам Пуассона, Гаусса или фрактальному закону «$1/f$».

Для проведения исследований нами выбрана частота 129 ГГц, как частота интенсивного поглощения атмосферного кислорода и резонансного взаимодействия с водной компонентой биологической среды. Для более эффективного информационного воздействия на молекулярные процессы в биологической среде, генерирующей МСПИ участвующих в метаболизме веществ, в структуре которых имеются волны различных типов и поляризаций, нами было предложено использовать для формирования воздействующего на биологическую среду КВЧ-поля квазиоптический генератор, формирующий основной тип колебаний на гибридной волне EH_{11}, обеспечивающий вращение векторов поля **E** и **H**.

Материал и методы

В экспериментах использовали кровь, полученную от 15 клинически здоровых лактирующих коров, которую стабилизировали цитратом натрия (3,8 % –9:1). Одну порцию крови центрифугировали при 1500 об/мин в течение 15 мин, удаляли надосадочный слой и оставшуюся эритроцитарную массу дважды промывали и ресуспензировали в изотоническом растворе (0,8 % NaCl) в объеме, обеспечивающем такую же концентрацию эритроцитов, как и в интактной крови. Взвесь эритроцитов делили на две части: одна служила для контроля, а вторую подвергали электромагнитному КВЧ-воздействию на частоте 129 ГГц.

Опытные образцы помещали в квазиоптическую нагрузку панорамно-спектрометрического квазиоптического измерительного комплекса с доступом атмосферного воздуха к образцам через квазиоптический тракт. Точность установки частоты по волномеру измерительного комплекса составляла ± 0,1 ГГц. Для усиления молекулярного взаимодействия квазиоптический лучевод с исследуемой кровью возбуждался полем с вращающимся вектором поля EH_{11}. Плотность мощности 10^{-3}Вт/см^2 облучения устанавливалась с точностью ± 15 %.

Цельная кровь и взвесь эритроцитов помещались в конусообразную кювету из прозрачного КВЧ-материала, которая крепилась в конусообразной экранированной от внешних полей квазиоптической согласованной нагрузке, поглощающей всю поступающую по лучеводу мощность, имеющую КСВН ≤ 1,05 (коэффициент стоячей волны). Внутренняя поверхность нагрузки состояла из поглощающего материала. Кювета была обращена своей конусной поверхностью в сторону подающей мощности, обеспечивая минимальное отражение [3]. Экспозиция КВЧ-облученных образцов проводилась в течение 15, 30 и 90 мин.

В контрольных и опытных образцах крови определяли количество эритроцитов, СОЭ, концентрацию гемоглобина, показатель гематокрита, осмотическую резистентность эритроцитов, эритрофоретическую подвижность эритроцитов (ЭФПЭ), пероксидное окисление липидов (ПОЛ) по уровню малонового диальдегида, предел текучести, агрегацию эритроцитов и коэффициент агрегации эритроцитов по общепринятым методикам.

Результаты исследований были подвергнуты обработке на основе статистического критерия значимости Стьюдента и проверены непараметрическими методами (Уилкинсян – Манни – Уитни, X^2). Расчет проведен на персональном компьютере с использованием пакета программ Statgraphics.

Результаты исследований и их анализ

Проведенные нами эксперименты с кровью животных (*in vitro*) свидетельствуют о том, что количество эритроцитов после экспериментального воздействия ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) достоверно уменьшается ($p < 0,05$) с 6,88± 0,36 до 4,97±0,49 $\times 10^{12}$/ л. При этом количество эритроцитов изменяется в зависимости от времени воздействия ЭМИ КВЧ (129 ГГц), достигая минимума (5,02±0,47 $\times 10^{12}$/ л) при 90 мин (табл. 1).

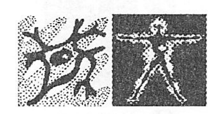


Таблица 1. ***Изменение количества и размера эритроцитов в крови лактирующих коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Группа, время воздействия	Число эритроцитов, $\times 10^{12}$/л	Диаметр эритроцита, мкм	
		min	max
Контроль	6,88 ± 0,36	3,51 ± 0,41	5,35 ± 0,29
Опытная, 15 мин	4,97 ± 0,49 **	4,56 ± 0,37 *	7,97 ± 0,68 **
Опытная, 30 мин	5,02±0,47**	4,71±0,29*	8,05±0,47**
Опытная, 90 мин	3,98±0,62**	4,96±0,35*	8,34±0,53**

Примечание: * $p < 0{,}05$; ** $p < 0{,}01$, по отношению к контролю.

Цитофотометрические показатели эритроцитов, полученные путем исследования на автоматическом анализаторе микрочастиц, выявили увеличение среднего диаметра, периметра и объема эритроцитов в опытных образцах (рис. 1).

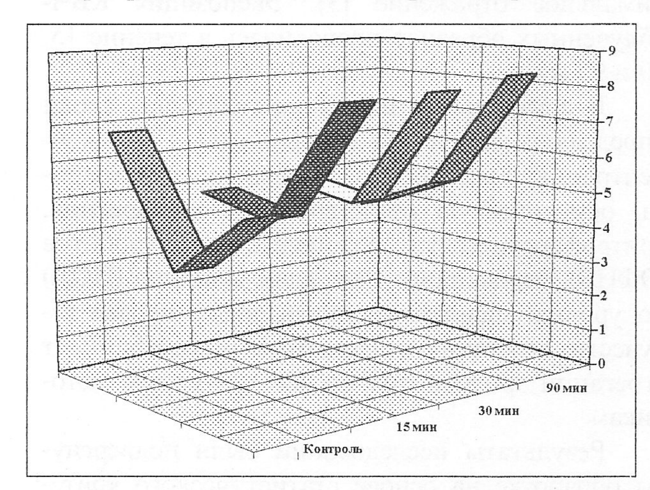


Рис. 1. Изменение количества и размера эритроцитов в крови коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 в условиях *in vitro* (n=15)

Так, в контрольных образцах минимальный диаметр эритроцитов составил 3,51±0,41 мкм, а максимальный – 5,35±0,29 мкм, в то время как в опытных образцах статистически достоверно увеличивался, соответственно 4,56±0,97 ($p < 0{,}05$) и 7,97±0,68 мкм ($p < 0{,}01$).

Следовательно, параллельно снижению количества эритроцитов в опытных образцах крови *in vitro* происходит увеличение диаметра, периметра и объема эритроцита, что указывает на непосредственное воздействие ЭМИ КВЧ на молекулярных частотах поглощения и излучения атмосферного кислорода на морфофункциональное состояние эритроцитов (рис. 2).

При этом достоверно установлено снижение объема эритроцитов с 21,1±2,5 до 28,9±3 мкм^3 и содержания сухих веществ в эритроците с 13,1±1 до 10,5±0,6 пг при увеличении концентрации воды в эритроците с 60,1±1,1 до 66±1,1 % (табл. 2).

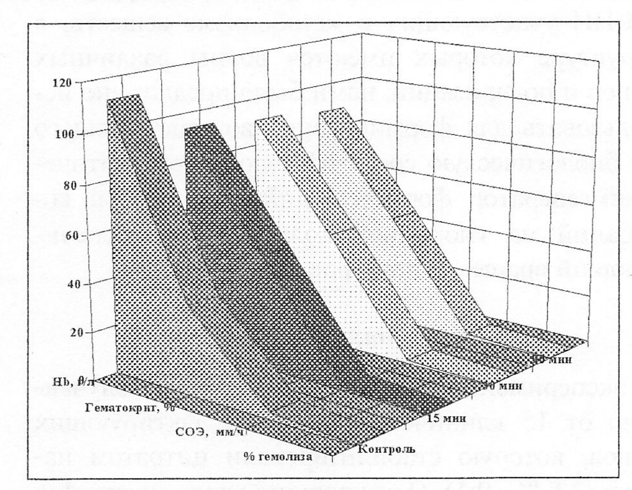


Рис. 2. Изменение показателей крови коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 в условиях *in vitro* (n=15)

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствую о том, что корреляция между стандартными значениями СОЭ и экспозицией воздействия ЭМИ КВЧ в диапазоне 129 ГГц не обнаружена, несмотря на тенденцию снижения интенсивности СОЭ.Хорошо известно, что почти немедленно после остановки движения крови эритроциты ассоциируют с появлением «монетных столбиков», которые объединяются с образованием трехмерной сети. В процессе измерения СОЭ происходит реорганизация сети, поскольку продолжающиеся метаболические процессы приводят к «набуханию сети» за счет изменения коллоидного состояния плазмы, – с одной стороны, и метаболической активности – с

другой. Это, по всей видимости, объясняется тем, что в цельной крови эритроциты в условиях in vitro продолжают потреблять кислород, генерируя его активные формы [3]. В условиях аноксии, в которых кровь пребывает, при измерении СОЭ зернистые клетки крови могут получать кислород только из эритроцитов, поэтому СОЭ как измерительная величина существенно зависит от степени оксигенации зернистых клеток крови.

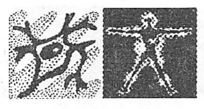


Таблица 2. ***Показатели физических параметров эритроцитов лактирующих коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Показатель	Группа, время воздействия			
	Контроль	Опытная, 15 мин	Опытная, 30 мин	Опытная, 90 мин
Объем, мкм^3	21,1±2,5	28,9±3,0*	29,3±1,2*	31,1±2,4**
Плотность эритроцита, × 10^3 кг/м	1,134±0,013	1,124±0,004	1,120±0,003	1,114+-0,003*
Концентрация воды в эритроците, %	60,1±1,2	63,9±1,1*	64,2±0,9*	66,0±1,1**
Содержание сухих веществ в эритроците, пг	13,1±1,0	11,1±0,9*	10,7±0,7*	10,5±0,6*
Относительный показатель преломления	1,088±0,002	1,081±0,003	1,082±0,002	1,079±0,004

Примечание: * $p < 0{,}05$; ** $p < 0{,}01$, по отношению к контролю.

Таблица 3. ***Изменение показателей крови лактирующих коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Группа, время воздействия	Концентрация Hb, г/л	Показатель гематокрита, мл%	СОЭ, мм/ч	Осмотическая резистентность эритроцитов, % гемолиза
Контрольная	111,5±3,44	36,40±2,06	2,88±0,65	0,50±0,04
Опытная, 15 мин	93,5±2,72*	47,75±4,92*	1,75±0,72	0,35±0,05*
Опытная, 30 мин	90,4±1,95*	47,65±3,27*	1,42±0,25	0,36±0,03
Опытная, 90 мин	87,8±2,05**	46,51±2,95**	1,77±0,67	0,32±0,05*

Примечание: * $p < 0{,}05$; ** $P < 0{,}01$, по отношению к контролю.

Из представленных данных табл. 3 следует, что воздействие ЭМИ КВЧ существенно дестабилизирует гемовую часть эритроцита, особенно при экспозиции 90 мин [8, 9].

Проведенные исследования показали, что воздействие ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ атмосферного кислорода на эритроцитарную взвесь оказывает значительное влияние на осмотическую резистентность эритроцитов. Было установлено (рис. 3), что 100%-ный гемолиз в опытных образцах крови *in vitro* практически наблюдается в растворе NaCl 0,15 %-ной концентрации. При этом была выявлена различная устойчивость опытных и контрольных образцов крови *in vitro* к гемолитическому действию гипотонических растворов. Так, если в контрольных образцах гемолиз эритроцитов наблюдается при концентрации NaCl 0,25…0,30 %-ного раствора, то в опытных – 0,49…0,55 %-ного раствора, что свидетельствует об устойчивости эритроцитов к гемолизирующему действию гипотонических растворов после облучения электромагнитными волнами в миллиметровом диапозоне на частоте 129 ГГц.

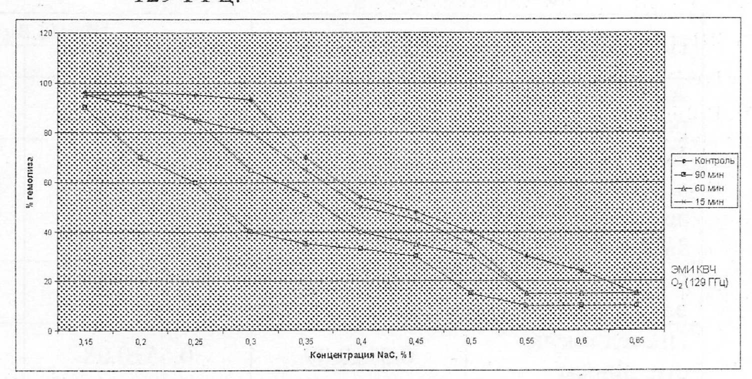
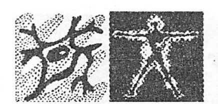


Рис. 3. Изменение осмотической резистентности эритроцитов



Данные, представленные в табл. 3, подтверждают вышеприведенную информацию и показывают, что осмотическая резистентность эритроцита при воздействии ЭМИ МСПИ O_2 статистически достоверно падает. Вероятно, это обусловлено тем, что электромагнитные волны приводят к разбалансировке расположения молекул липидов в эритроците, уменьшая силу гидрофобных взаимодействий.

По всей видимости, ЭМИ КВЧ на частоте молекулярного спектра поглощения и изучения кислорода на частоте 129 ГГц повышает окисление глютатиона за счет возрастания активности окислительных ферментов, что сопровождается снижением концентрации гемоглобина, в среднем на 16,14 % ($p<0,05$) и возрастанием показателя гематокрита на 30,9 % ($p<0,05$).

Исследование реологических свойств крови до и после воздействия ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 показывает, что вязкость крови статистически достоверно ($p < 0,05$) снижается при больших скоростях сдвига. Причем необходимо отметить, что при времени экспозиции 90 мин наблюдается уменьшение вязкостных свойств крови (рис. 4).

Так, при экспозиции 90 мин при скорости сдвига 200 с' и 100 с" вязкость крови понизилась до 2,99±0,02 и 3,08±0,03 сПз. При экспозиции 5 мин вязкость крови составила 4,25±0,02 ($p < 0,05$) при 50 с' и 4,45±0,02 сПз при 20 с".

Проведенные нами исследования показали, что электромагнитное воздействие КВЧ на частоте МСПИ атмосферного кислорода вызывает существенные изменения реологических свойств крови у клинически здоровых животных (*in vitro*).

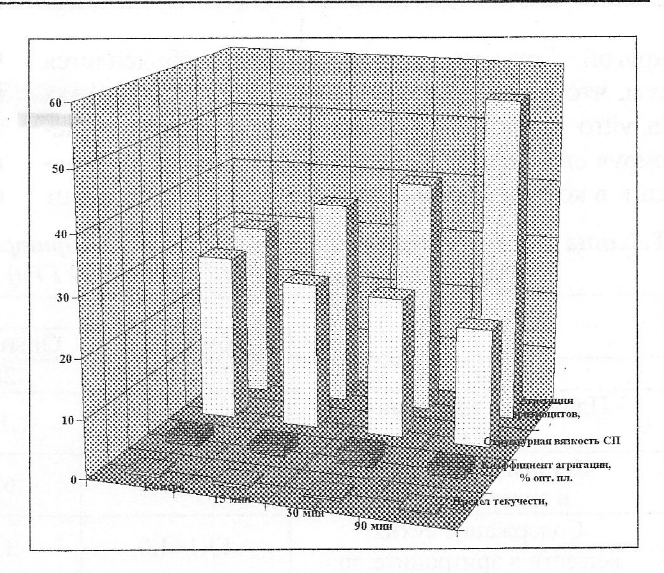


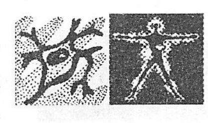
Рис. 4. Характер реологических кривых до и после проведения облучения образцов крови (*in vitro*) ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2

Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что структурная вязкость крови под воздействием ЭМИ КВЧ уменьшается экспоненциально от времени облучения ($p < 0,05$; $p < 0,01$). При этом предел текучести уменьшается через 30 мин на 15,5 %, а через 90 мин – в 1,4 раза. Агрегация эритроцитов увеличивается в опытных образцах, соответственно, через 15 мин на 17,067 %, через 30 – на 67 %, а через 90 мин – на 83,067 % в сравнении с контрольными образцами. В то время как коэффициент агрегации эритроцитов резко снижается только в течение первых 30 мин, дальнейшая же экспозиция сохраняет тенденцию к снижению, однако полученные данные были статистически не достоверны.

Таблица 4. ***Показатели некоторых гемореологических свойств крови лактирующих коров при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Показатель	Контроль	Время воздействия ЭМИ КВЧ, мин		
		15	30	90
Агрегация эритроцитов, дин/см	30,0±1,40	35,3±2,23*	40,1±1,42**	55,1±1,3***
Коэффициент агрегации эритроцитов, % опт. пл.	1,55±0,12	2,02±0,4*	2,45±0,14**	1,84±0,34
Структурная, вязкость СП	28,4±0,4	25,2±0,024*	24,1±0,62*	20,1±0,42**
Предел текучести, дин/см	0,57±0,09	0,55±0,08	0,42±0,08*	0,23±0,08**

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$, по отношению к контролю.



Особенно важное значение процессов, происходящих на мембранном уровне, имеет активация фосфолипазы A_2, гидролизующей сложноэфирную связь между остатком глицерина и ненасыщенным ацильным радикалом фосфолипидов липидного биослоя мембраны эритроцита. Следствием этого гидролиза является, во-первых, образование свободных ненасыщенных жирных кислот и в первую очередь арахидоновой кислоты, трансформирующейся в простагландины, тромбоксаны и лейкотриены, и, во-вторых, накопление лизофосфатидов, обладающих выраженным хаотропным действием. Метаболические и физиологические эффекты, вызываемые воздействием ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2, наряду с детергентным действием проникающих в эритроциты из плазмы крови жирных кислот, приводят к нарушению структуры билипидного слоя эритроцитов, изменению конформации и архитектоники, а также к снижению функциональной активности связанных с ним белков эритроцита.

Разобщение окислительного фосфорилирования является одной из основных причин усиления генерации в клетках активных метаболитов кислорода (АМК – супероксидного анион-радикала (O_2^-), пероксида водорода (H_2O_2), гидроксильного радикала (OH^-), пергидроксильного радикала (OH_2^-), синглетного кислорода ($^1O_2$), органических радикалов и пероксидов (RO_2, RO), оксида азота (NO). Последний, взаимодействуя с относительно малоактивным супероксидным анион-радикалом, образует чрезвычайно агрессивный пероксинитрит ($ONOOH$).

Интенсивность свободнорадикального окисления ограничивается функционированием сложной тканеспецифической системы ингибиторов (табл. 5).

Сдвиг тканевого баланса в сторону увеличения активности прооксидантов приводит к окислительным стрессам. Срыв антиоксидантной защиты при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 в течение 30…90 мин характеризуется развитием свободнорадикальных повреждений макромолекулярных и надмолекулярных структур эритроцитов (табл. 6).

Таблица 5. ***Изменение энергетического статуса эритроцитов при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Активность ферментов, мкмоль/мл	Контроль	Время воздействия ЭМИ КВЧ, мин		
		15	30	90
Фруктоза-1,6-дифосфатальдолаза	9,8±1,3	10,6±1,5	9,8±1,4	7,3±0,8
Транс-кетолаза	0,26±0,04	0,34±0,05	0,32±0,004	0,33±0,004
2,3-бифосфо-глицерат	4,3±0,6	5,6±0,8	5,2±0,7	4,2±0,5
Аденозин-трифосфат	1,0±0,08	1,4±0,1	1,5±0,1	0,7±0,008

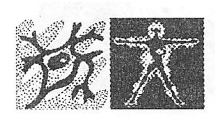
Таблица 6. ***Изменение активности ферментов эритроцитов при воздействии ЭМИ КВЧ на частоте МСПИ O_2 (129 ГГц) в условиях in vitro (n = 15)***

Активность ферментов	Контроль	Время воздействия ЭМИ КВЧ, мин		
		15	30	90
Супероксид-дисмутаза, ед./мл	50,8±2,3	56,5±2,4	54,9±3,0	41,3±1,9
Каталаза, ед./мл	12,5±0,5	13,2±0,6	10,4±0,5	7,4±0,4
Глутатионпероксидаза, ммоль/л	78,1±4,8	82,5±5,3	80,4±5,2	68,5±4,4
Глутатионредуктаза, мкмоль/мл	102,5±11,6	116,5±12,6	137,5±15,2	104,5±12,2

Антиоксидантные ферменты работают преимущественно кооперативно. Так, супероксиддисмутаза эритроцитов существенно (в 2000 раз) ускоряет реакцию дисмутазы кислорода:

$$O_2^- + O_2^- + 2H \longrightarrow H_2O_2 + O_2. \quad (1)$$

Глутатионпероксидаза эритроцитов катализирует восстановление H_2O_2 глутатионом, превращая H_2O_2 в H_2O посредством каталазы:



$$H_2O_2 + 2\,ГSH \longrightarrow 2H_2O + ГSSГ. \qquad (2)$$

Глутатионредуктаза восстанавливает окисленный глутатион и, таким образом, обеспечивает непрерывность действия глутатионпероксидазы:

$$ГSSГ + НАДФН\,(H^+) \longrightarrow 2\,ГSH + НАДФ^+. \qquad (3)$$

Следовательно, антиоксидантная активность ферментов эритроцитов подкрепляется полиненасыщенными фосфолипидами.

Заключение

Большое количество экспериментальных данных последних лет, полученных на клетках различного типа, позволяют рассматривать активные формы кислорода как молекулы, регулирующие различные стороны функциональной активности эритроцитов и внутриклеточную передачу сигнала.

Результаты проведенных нами морфологических, биохимических и биофизических наблюдений свидетельствуют о том, что ЭМИ КВЧ на частоте молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода вызывает снижение числа и увеличение диаметра эритроцитов, снижение жесткости мембран эритроцитов, приводит к разрушению части гипотоцитов и освобождает факторы гемокоагуляции.

Следует также отметить, что в действительности в организме животных условия сатурации и десатурации крови от кислорода совершенно иные.

Исследования дыхательной функции крови по транспорту кислорода проведены в замкнутом объеме, где проба крови осуществляется в соприкосновении с атмосферными газами. В этих условиях диффузия кислорода к молекуле гемоглобина максимально облегчена. Время контакта кислорода с гемоглобином практически бесконечно – вплоть до полного насыщения.

В реальных условиях кровь течет по капиллярам, которые ограничивают поверхность соприкосновения крови с газовой средой в альвеолах и с тканями в различных органах животных. Ограничено и время контакта крови с газовой средой и тканями. Оно определяется скоростью кровотока в микрососудах (где происходит газообмен) и их протяженностью.

В сосудах животного теряют смысл некоторые параметры дыхательной функции крови. Так, например, гематокрит крови в пробирке, определяющий кислородную емкость крови, не имеет значения в капилляре, в котором плазма движется медленнее эритроцитов. Поэтому газообмен между эритроцитами и средой на уровне капилляров будет определяться такими сложными параметрами, как время контакта, число эритроцитов, пересекающих поперечное сечение капилляра, линейная скорость эритроцита, скорость реакции оксигенации гемоглобина в легких и дезоксигенации в тканях. Это совсем новые физиологические проблемы [10]. От их решения зависит понимание как физиологической нормы осуществления дыхательной функции крови, так и многочисленных патологических процессов, связанных с нарушением газообмена между кровью и средой в виде возбужденного КВЧ-полем атмосферного воздуха на частоте молекулярного поглощения атмосферного кислорода в альвеолах или тканях животных. Поэтому результаты экспериментов, впервые проведенных на крови животных, носят чисто научное значение, как первый шаг в познании биофизики взаимодействия живых клеток и атмосферного воздуха с КВЧ-волнами на частоте молекулярного поглощения атмосферного кислорода (129 ГГц). Проблема взаимодействия КВЧ-волн на частотах молекулярных спектров кислорода является заманчивой, если учесть интересный факт, что литр крови содержит столько кислорода, сколько его находится в литре атмосферного воздуха (~ 20 %), т. е. организм является прозрачным по кислороду [11].

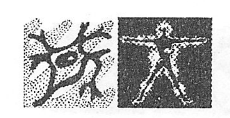
🕮 Литература

1. *Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В.* – Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991
2. *Бецкий О.В., Яременко Ю.Г.* Миллиметровые волны и перспективные области их применения. – Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, 2002, № 5.

3. *Логвинов В.В., Русяев В.Ф., Туманянц Е.Н.* Влияние электромагнитного излучения КВЧ на эритроциты человека (*in vitro*). – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1999, № 1(13).
4. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Бецкий О.В.* Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, № 5-6.
5. *Бецкий. О.В., Девятков Н.Д., Лебедева Н.Н.* Лечение электромагнитными полями. – Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 7.
6. *Иноземцев В.П.* Квантовая терапия коров при воспалительных заболеваниях матки и молочной железы: Автореф. дисс. на соис. уч. степени д-ра вет. наук. С.-Петербург, 1999.
7. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д., Трошин О.Ф.* Квазиоптический КВЧ-генератор молекулярных спектров излучения атмосферных газов. – Электронная промышленность, 2002, № 1.
8. *Фанштейн Д.Э., Козинец Г.И., Бахрамов С.М., Хохлова М.П.* Болезни системы крови. – Ташкент: Медицина, 1987.
9. *Cameby I.A., Klyubin I.V.* Rolus of rective oxygen species signaling and regulation of cellulac functions. – Int. Kec. Cytol. 1999, v. 188,pp. 203-255.
10. *Иванов К.П.* Современные проблемы дыхательной функции крови и газообмена в легких. – Физиологический журнал им. И.М. Сеченова, 1992, № 11.
11. *Иваницкий Г.Р.* Биофизика на пороге нового тысячелетия: перфторуглеродные среды и газотранспортные кровезаменители. – Биофизика, 2001, т. 46, вып. 1, с. 5-33.



Поступила 25 декабря 2002 г.



УДК 583.573.61, 616.64:69, 615.8

Биомедицинские эффекты КВЧ-волн в методах китайской акупунктуры

А.В. Майбородин, А.П. Креницкий

Анатолий Викторович Майбородин — см. с. 4

Александр Павлович Креницкий — см. с. 3

Рассмотрены биомедицинские эффекты КВЧ-волн в процессе акупунктуры с применением нитевидных игл, микроиглотерапии, термопунктуры, акупрессуры, микропрессорефлексотерипии. Представлены устройства рефлексотерапии на эффекте Пельтье и пьезоэлектрическом эффекте, результаты расчетов рекомендуемых размеров и геометрии устройств рефлексотерапии и элементов бижутерии и ювелирных изделий, наиболее эффективно оказывающих лечебное воздействие электромагнитным полем КВЧ.

Biomedical effects of EHF-waves in the process of acupuncturing with using the thread-like needles, microacupuncture, thermopuncture, acupressure, and micropressoreflexotherapy are considered. The devices of reflexotherapy, operating on the base of the Peltier and piezoelectric effects, results of calculations of advisable dimensions and geometric forms of the devices of reflexotherapy and elements of bijouterie and jewelries, being characterized by the most medicinal influence of electromagnetic EHF-field, are presented.

Введение

Медицина – одна из древнейших областей науки, но, по-видимому, ни одна из других областей науки не содержит столько нераскрытых тайн, как наука о здоровье и функционировании систем живого организма.

Ярким примером этого являются нераскрытые тайны интригующего учения о древневосточной медицине, называемого «чжен-цзю». Метод лечения, широко известный под названием *акупунктура* или *рефлексотерапия*, успешно применяется на практике около 5000 лет. По учению «чжен-цзю» акупунктурные точки (биологически активные точки – БАТ) объединены двенадцатью основными меридианами, имеющими внешний (подкожный) ход, объединяющий определенную группу точек и обеспечивающий связь с внешней средой. Внутренний ход соединяет меридиан с системой определенного органа.

Заболевания вызываются избытком или недостатком энергии (жизненная энергия «*чи*») в определенных меридианах. Лечение сводится к восстановлению равновесия циркуляции энергии «*чи*» в организме посредством определенного воздействия на заданные БАТ [1, 2].

Существуют различные подходы в объяснении эффекта акупунктуры как способа диагностики и лечения, например, немецким ученым Р. Фоллем используется закономерность в изменении трансмембранного потенциала БАТ, или теория, основанная на существовании в БАТ межклеточных щелевых контактов, и др.[3].

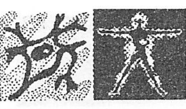
По-видимому, система БАТ служит для связи организма живых существ с окружающей средой, опосредованной, главным образом, с физическими полями (в том числе электрическими, магнитными и электромагнитными), учитывая, что такие факторы окружающей среды, как свет, тепло и другие, тоже имеют электромагнитную природу, а изменение метеоусловий сопровождается изменением концентрации ионов в атмосфере, напряженности атмосферного электричества и геомагнитного поля, что также может воздействовать на БАТ. Предполагается, что через эти точки осуществляется как информационная, так и энергетическая связь организма с окружающей средой [3, 4].

Следует отметить, что раньше считалось "мистическим оттенком" утверждение древних целителей, что энергию «*чи*» человек получает при рождении и затем пополняет ее не только из земной пищи через рот, но и из «космической» пищи через нос [3]. Однако последняя фраза этого утверждения древних возможно подтверждается предложенной электродинамической моделью взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе [5]. В соответствии с этой моделью дыхательная система представляет собой квазиоптическую приемопередающую систему с площадью альвеолярной мембранной антенны более 120 м^2, через которую происходит **молекулярный** (9 000 л атмосферного воздуха за 8 ч), **энергетический** (преобразование атмосферных газов и теплообмен при вдохе и выдохе) и **информационный** (молекулярные КВЧ-спектры излучения и поглощения атмосферных газов и спектры внешнего, в том числе космического, возмущения атмосферных газов). Человек рождается, и его первый вдох атмосферного воздуха дарит ему жизнь и связь с внешней средой, последняя осуществляется и через дыхание кожей и БАТ.

Методы китайской акупунктуры различаются в зависимости от способа воздействия на БАТ. В данной работе рассматриваются вышеупомянутые методы и их связь с внешними электромагнитными полями.

Электродинамическая модель взаимодействия электромагнитных полей с БАТ в процессе акупунктуры

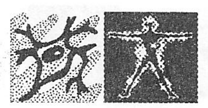
Родиной иглотерапии считается Китай. Одним из первых дошедших к нам документов, посвященных иглоукалыванию, была китайская книга «Трактат о внутреннем, или О природе жизни», написанная около 221 года до н.э. В ней были изложены теоретические основы *чжень-цзю*-терапии, а также предложены девять форм металлических игл. Длина игл может варьироваться от 15 до 150 мм, длина острия – 1,5…2 мм, толщина игл 0,15…0,45 мм. Ручка иглы исторически обычно выполняется в виде намотанной от верхнего конца иглы тонкой проволоки из серебра диаметром 0,1…0,15 мм. Иглы изготавливаются из нержавеющей стали, золота, серебра, платины и их сплавов. Глубина их введения зависит от толщины тканей до БАТ и составляет приблизительно 0,1…3 см и более. Для микроиглотерапии, предназначенной для длительного воздействия на БАТ, используют металлические микроиглы из тех же материалов диаметром 0,1…0,3 мм с ручкой в виде кольца, стержня длиной 1…15 мм, при этом иглу вводят в кожу под углом 3…15° и закрепляют на коже пластырем [1, 2, 4].



В настоящее время существуют различные формы игл и их частей – ручек, острий. Они изготавливаются с использованием современных технологий. Бережное отношение к опыту древних, собиравших тысячелетиями экспериментальные данные о влиянии форм и размеров игл и их частей на процесс акупунктуры, порой нарушалось, не зная истинного назначения отдельных частей иглы, например, ручки, острия. Ручку стали выполнять в формах и из материалов, которые удобны для пользования, не подозревая об истинном ее предназначении и ее влиянии на процесс лечения. В этой работе будут представлены только некоторые варианты игл, используемых древними целителями.

Рассмотрим взаимодействие электромагнитных волн на БАТ в процессе акупунктуры с применением нитевидных игл и микроиглотерапии с использованием микроигл исторически традиционной формы.

Иглу, введенную в БАТ, можно представить в виде приемопередающей антенны и с учетом ее электродинамических свойств можно разбить на четыре функциональные части (рис. 1): первую *1* (ручка), представляющую собой цилиндрическую спиральную антенну [6], вторую *2*, которую можно представить как антенну – четвертьволновый вибратор [7, 8], третью *3* (проводник, введен-



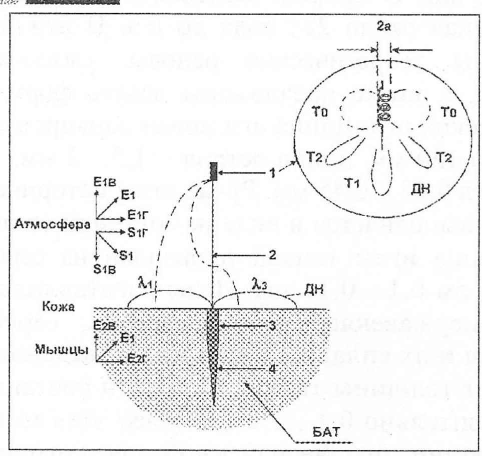


Рис. 1. Игла, введенная в БАТ: $\lambda 1$ – основная волна; $\lambda 3$ – нечетная гармоника

ный в кожу с заданным значением ε), которую можно представить в виде линии Губо [7], и, наконец, четвертая часть *4* может быть представлена в виде находящегося в биологическом электролите БАТ центрального проводника, линии Губо, с плавно уменьшающимся диаметром и переходящим в острие.

Ручку иглы, выполненной в виде спирали, один конец которой свободен, а второй соединен с проводником в виде коаксиальной линии, называют цилиндрической спиральной антенной. Теоретический анализ показывает, что вдоль спирали распространяются поверхностные электромагнитные волны сложной структуры, их принято обозначать символом T_n, где n – число длин волн, укладывающихся на длине витка спирали *1* (рис. 1) [6]. Если $l \approx 2\pi a << \lambda$, то имеет место волна T_0, и излучение вдоль оси спирали отсутствует, а диаграмма направленности (ДН) будет иметь вид T_0, показанный на рис. 1. Режим осевого излучения возникает при $l \approx \lambda$, в спирали возбуждается волна T_1.

Для синфазного сложения полей в соседних витках должно выполняться следующее соотношение:

$$l = \lambda_{\mathrm{w}} \left(1 + S/\lambda\right),$$

где S – шаг спирали; λ – длина волны в свободном пространстве; λ_{w} – длина волны, распространяющаяся вдоль провода спирали.

Важной особенностью волны T_1 является то, что она распространяется в направлении оси иглы и имеет круговую поляризацию при $l = \lambda_{\text{пр}}$, равного $\lambda_{\text{пр}}$, или эллиптическую – при $l \neq \lambda_{\text{пр}}$. Если $\lambda \approx 2\lambda$,то вдоль спирали распространяется волна T_2, при этом излучение вдоль оси отсутствует, а ДН имеет воронкообразную форму *1*, T_2 рис. 1.

Ниже приведены частоты f T_1 и T_2 -волн излучения или приема антенны (спиральной ручки иглы) в зависимости от ее геометрии, которая используется при акупунктуре [1, 2, 4]:

a, мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
(T_1), f, ГГц	500	250	166	125	100	83	71	62	55	50	45	41,6
(T_2), f, ГГц	1000	500	332	250	200	166	142	124	110	100	90	83,2

Отсюда следует, что диапазон частот излучения спиральной антенны-ручки иглы при изменении a от 0,1 до 1,2 мм находится в основном в КВЧ-диапазоне. Электромагнитное поле волны T_1 направлено вдоль иглы, имеет круговую поляризацию и воздействует на БАТ. Электромагнитное поле излучения волны T_2 имеет вдвое большую частоту, находится в основном в КВЧ-диапазоне и достигает терагерцового диапазона частот, имеет воронкообразную ДН и падает на края БАТ, в то время как ДН волны T_1 обеспечивает максимальную мощность поля в центральной точке БАТ.

Наибольшую длину имеет вторая часть иглы-проводника (*2*, рис. 1), нижний конец которой погружен в подкожный слой ($\varepsilon \approx 30$) или мышцы ($\varepsilon \approx 48$), имеющие диэлектрическую постоянную в несколько десятков раз выше атмосферного воздуха $\varepsilon \approx 1$, а сопротивление намного меньше (сопротивление эпидермиса в КВЧ-диапазоне может изменяться в пределах 0,01…20 Ом/м) [9]. Большое значение ε для кожи и мышц определяется наличием в них воды, имеющей $\varepsilon \approx 80$.

Наибольшим сопротивлением к электрическому току обладают роговой и блестящий слои эпидермиса, обусловленного высоким содержанием липидов и низким содержанием воды. Об-

ласть резкого уменьшения электросопротивления находится приблизительно на внешней поверхности зернистого слоя кожи. Скорость транспорта различных веществ через кожу определяется коэффициентом диффузии ее основных слоев. Диффузия, таким образом, в основном определяется проницаемостью рогового слоя, потовых желез и зернистого слоя эпидермиса [9].

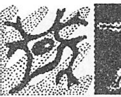
Иглу, введенную в кожу, можно считать приемопередающей антенной, которую часто называют четвертьволновым вибратором *2* (см. рис. 1). Диаграмма направленности такой антенны имеет максимум излучения вдоль поверхности кожи, вектор **E** направлен перпендикулярно поверхности кожи, а вектор распространения электромагнитной энергии **S** направлен параллельно поверхности кожи. Но это случай, когда кожу можно представить идеальным проводником, однако сопротивление сухой кожи имеет достаточно большое значение: $10^5 \ldots 10^7$ Ом [9]. Таким образом, помимо составляющей S_{1h}, направленной вдоль поверхности кожи, имеется составляющая S_{1v}, направленная перпендикулярно коже, в результате чего суммарный вектор S_1 направлен не параллельно коже (см. рис. 1), следовательно, и вектор напряженности электрического поля E_1 направлен к поверхности кожи под углом, не равным 90°, и помимо вертикальной составляющей напряженности электрического поля E_{1v} имеется горизонтальная составляющая E_{1h}. В соответствии с [10] соотношение между вертикальной и горизонтальной составляющими комплексных амплитуд напряженности электрического поля вблизи поверхности кожи будет

$$E_h = \frac{E_v}{\sqrt{\varepsilon - i \cdot 60\gamma\lambda}}.$$

Составляющие E_h и E_v сдвинуты по фазе, поэтому поле имеет эллиптическую поляризацию, причем связь между комплексными амплитудами составляющих поля в атмосфере и коже можно приблизительно представить следующим образом [10]:

$$E_{2h} = E_{1h};\ E_{2v} = E_{1v}/\varepsilon - i \cdot 60\gamma\lambda;\ E_{2v} = E_{2h}/\sqrt{\varepsilon - i \cdot 60\gamma\lambda},$$

где ε, γ – диэлектрическая проницаемость и проводимость среды соответственно.




На рис. 1 показано распределение тока в части *2* иглы на основной длине волны $\lambda_1/4$ и ее нечетных гармоник λ_3, λ_5. Для последних на свободном конце иглы будет узел тока, а у кожи – пучность, при этом ДН имеет максимум излучения вдоль поверхности кожи БАТ вокруг иглы (см. рис. 1).

Резонансные длины волн такой антенны равны

$$\lambda_m = \frac{4l}{m},\ \text{где}\ m = 1, 3, 5;\ l\ \text{– длина иглы } 2.$$

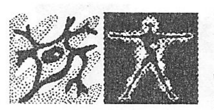
При этом собственная длина волны λ_1 антенны *2* равна $\lambda_1 = 4l$. Резонансные колебания в антенне возникают при вынужденных колебаниях внешнего поля на частоте собственных колебаний иглы или на частотах нечетных гармоник.

Итак, при воздействии на иглу *2* внешнего электромагнитного поля она может его принимать и, преобразуя в эллиптически поляризованное поле, передавать в БАТ. Поле, возбуждаемое БАТ, может излучаться той же антенной (иглой) во внешнее пространство.

Ниже приведен частотный диапазон излучения (приема) электромагнитных волн игл различной длины, используемых в акупунктуре:

l, мм	2	5	10	50	100	150
λ_1, мм	8	20	40	200	400	600
λ_3, мм	2,6	6,6	13,3	66,6	133	200
λ_5, мм	1,6	4	8	40	80	120
λ_7, мм	1,1	2,8	5,7	28,5	57,1	85,7

Отсюда следует, что антенны-иглы, имеющие рекомендованные размеры l для применения в акупунктуре, имеют диапазон частот приема-передачи 0,5…272 ГГц ($\lambda = 600...1{,}1$ мм) при учете трех нечетных гармоник основной (λ_1) волны $\lambda_3, \lambda_5, \lambda_7$, а с учетом данных, представленных на с. 40, частотный диапазон приема-передачи составляет 0,5…1000 ГГц, т. е. практически до терагерцового диапазона, занимающего особое место между КВЧ-диапазоном и оптическим. Последние исследования зарубежных ученых показали, что в данном диапазоне частот тело человека является более прозрачным, это излучение проникает сквозь одежду и стены помещений, не причиняя вреда живым тканям [11].



Третья часть иглы (*3*), введенной в кожу, имеющей заданное значение диэлектрической проницаемости ε, которая может изменяться как в зависимости от глубины погружения (от структурного слоя кожи), так и от частоты в пределах от 3 до 8 и выше [9]. Если игла вводится в мышцы с большим содержанием воды, диэлектрическая проницаемость может быть порядка 30 и более.

Волноведущую структуру – иглу 3, введенную в диэлектрическую биологическую среду, с точки зрения электродинамики можно представить в виде линии Губо (проводник, окруженный диэлектриком). Поле внутри биологического диэлектрика в этом случае представляется гибридными волнами HE_{11}, структура такого поля показана в [7, 8].

Низшую азимутально-однородную E-волну, которая имеет тот же характер, что и основная волна однопроводной линии (иглы *3*), называют E_{00}-волной, она является поверхностной волной. Таким образом, в биологическом слое вокруг иглы распространяются гибридные волны HE_{11}, а по игле – поверхностные E_{00}-волны.

Линия Губо переходит в четвертую часть иглы – острие, по нормам акупунктуры острие выполняют длиной примерно 2…3 мм, которая в 5–10 раз больше диаметра иглы; это обеспечивает согласование сопротивлений биологической среды и иглы [7].

Острие, кроме функции контактного устройства между электромагнитными полями, формируемыми в 1- – 3-й частях иглы и биологическим электролитом БАТ (слой кожи ниже зернистого слоя эпидермиса с большим содержанием воды и ионов натрия, кислорода, калия др.) [3], выполняет роль усилителя ионных токов в электролите, так как в нем формируются электрические поля большой напряженности, которые обычно создаются в областях неоднородностей электрического поля (острия, выступы). Если поверхностное электростатическое поле на всей поверхности кожи будет приложено к игле, то на острие поле может иметь столь большую напряженность, что может возникнуть ионизация электронами молекул биологического электролита и усилить тем самым ток через него.

Для механической стимуляции игл при акупунктуре применяют микровибрации иглы вручную или, например, по трем координатам с помощью устройств рефлексотерапии с использованием пьезоэлектрического эффекта, при этом регулируются глубина погружения иглы и усиление ионных токов в БАТ [12, 13].

Глубина проникновения электромагнитного излучения (ЭМИ) КВЧ-диапазона в кожу определяется величиной скин-слоя $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu f a}} \approx$ $\approx 0{,}5\ldots0{,}7$ мм [9]. При иглотерапии глубина проникновения ЭМИ в соответствии с максимальной глубиной введения иглы в БАТ может достигать 1,5…2 цуня (~ 30 мм), т. е. глубина проникновения ЭМИ по игле увеличивается почти в 40 раз. Причем мощность ЭМИ проходит по игле с очень малыми потерями на большую глубину. С помощью уравнения Зоммерфельда для однопроводной линии были определены затухание и замедление волны проводника (иглы) диаметром 2 мм на частоте 1 ГГц. Отношение $Г/К$ составило [7]

$$Г/К = 1{,}00006 - i \cdot 0{,}000064,$$

где Г/К – отношение постоянных распространения для E_{00}- и T-волн.

Как видно, замедление и затухание волны довольно малы.

При проведении *микроиглотерапии* игла (рис. 2) может быть представлена в виде аппликаторной антенны, состоящей из полоскового резонатора (кольцо), соединенного через полосковую линию с подкожным слоем через линию Губо, переходящую в острие, контактирующее с биологическим электролитом. Резонансная длина волны аппликаторной антенны определяется как $\lambda = \pi\sqrt{\varepsilon}d$, где d – диаметр кольца; ε – диэлектрическая проницаемость кожи.

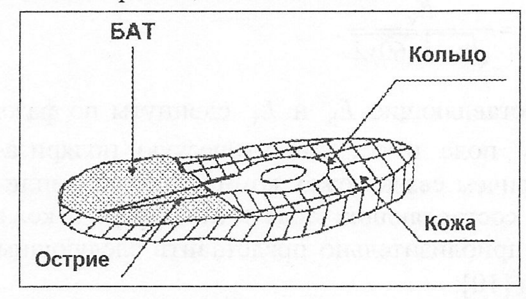


Рис. 2. Положение микроиглы при микроиглотерапии

Ниже приведены резонансные длины волн кольца в зависимости от его диаметра и диэлектрической проницаемости кожи [9]:

d, мм 0,1	0,2	0,5	0,6	0,8	1,05	1,2	1,48	
λ, мм 1	2	3	4	5	6	7	8	
$\varepsilon(\lambda)$ 8	6	4,2	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	

Отсюда следует, что диаметры колец на иглах, имеющих собственные резонансные частоты КВЧ-поля, равные лечебным [14], находятся в пределах 0,6…1,5 мм и зависят от конкретного ε для кожи. Если между кожей и кольцом находится воздух (кольцо поднято над кожей), то для лечебных длин волн 7,1; 5,6 и 4,9 мм диаметр кольца выбирается 2,3; 1,8 и 1,6 мм соответственно.

Воздействие КВЧ-волн в процессе микропрессорефлексотерапии

Микропрессорефлексотерапия или *цуботерапия* – разновидность рефлексотерапии, основанной на пролонгированном раздражении механорецепторов БАТ путем надавливания круглыми твердыми объектами диаметром 1…3 мм (семена растений, шарики или диски из твердых материалов), которые закрепляются, например, лейкопластырем на БАТ. Последние годы этот метод активно используется в силу своей безопасности, эффективности, широты спектра применения, отсутствия противопоказаний [1].

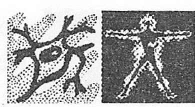
Воздействие КВЧ-волн на БАТ заключается в том, что указанные диэлектрические предметы, используемые для цуботерапии, можно считать открытыми диэлектрическими резонаторами. Энергия внешних ЭМИ преобразуется в них в энергию излучения электромагнитных волн на собственных резонансных частотах $f_р$ для различных типов колебаний E и H [15].

Резонансная частота диэлектрического резонатора, имеющего форму шара, рассчитывается по формуле

$$f_r = \frac{150\,p}{\pi R\sqrt{\varepsilon}},$$

где f_r – выражена в ГГц; R – радиус шара, в мм; ε – диэлектрическая проницаемость материала, из которого изготавливают шар; p – параметр, зависящий от типа колебаний H_{101} и E_{101}. Резонансные частоты этих типов колебаний отличаются приблизительно на 20 %.

Если в качестве возбудителя БАТ используется эллипсообразный диэлектрик, то его резонансную частоту можно определить по формуле [15]:



$$f_r = \frac{p_c}{2\pi\sqrt{\varepsilon}a_c},$$

где c – скорость света в свободном пространстве; ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика; a_c – размеры малой полуоси эллипсоида; $p_c = \sqrt{\varepsilon}k_0 a_c$; k_0 – волновое число в свободном пространстве. Для этого случая резонансные частоты колебания H_{101}, E_{101} отличаются очень мало.

Ниже приведены диаметры (с точностью до ± 20 %) диэлектрического шара из различных материалов [16, 17], которые излучают лечебные частоты, используемые в КВЧ-терапии [14, 18]:

f, ГГц	42,25	53,57	61,2
Янтарь ($\varepsilon = 2,8$), d, мм	7	3,5	3
Сапфир ($\varepsilon = 9$), d, мм	3,2	2,5	2
Жемчуг ($\varepsilon \sim 4$), d, мм	4,8	3,8	3,2
Бриллиант ($\varepsilon_{min} \sim 8$), d, мм	3,4	2,6	2,4

Таким образом, необходимо иметь в виду, что различная бижутерия и ювелирные изделия, которые контактируют с кожей человека и находятся в личном пользовании, посуда, письменные принадлежности, одежда и т. д., содержащие предметы из диэлектрических материалов, излучают электромагнтные волны низкой интенсивности на собственных резонансных частотах, зависящих от их формы и диэлектрической проницаемости. Важно знать частоту этих излучений, которая лечит КВЧ-полем, и учитывать это в повседневной жизни.

Люди, начиная с древних времен, носили украшения на различных частях тела в виде колец, браслетов, ожерелий, серег, амулетов, диадем, поясов, колье, бус из разных материалов различной формы. Этим предметам придавали большое значение.

Ювелирное дело и драгоценные камни люди используют более 4000 лет. По словам греческих врачей Мнезия и Калистрата, некоторые короны избавляли и предохраняли от болезней [19]. Древние греки и римляне носили кольца на четвертом пальце левой руки, поэтому этот палец назывался у них перстневым (перст). Они считали, что из сердца выходят особенные сосуды,




которые непосредственно идут к первому пальцу и сообщают ему сердцекрепительное свойство. Ушные серьги считались одним из любимых украшений у «древних скифов, хазаров, финнов и норманнов». Святослав, сын Игоря, носил в одном ухе золотую серьгу, Генрих де Валуа, избранный на царство в 1574 г., тоже носил жемчужину в правом ухе. Обыкновенный диаметр серег был не менее двух дюймов, что соответствует резонансной частоте ~1 ГГц, но были и гораздо больше. На Руси в XV и XVI веках носили браслеты из жемчуга, граната, золота. Каждому камню приписывали свое особое значение: качество талисмана, лекарства от какой-нибудь болезни. Камни были предметами поклонения.

Все перечисленное – элементы микропрессорефлексотерапии, поскольку украшения носили на теле, которое «усеяно» БАТ, размеры украшений и диэлектрическая проницаемость их материала могли обеспечивать излучение КВЧ-волн лечебных или вредных здоровью (например, частоты около 30 ГГц). Может быть, отсюда и появлялись легенды о камнях и ювелирных украшениях.

Эффекты КВЧ при термопунктуре

Для термопунктуры используются источники тепла с возможностью ограниченного по площади температурного воздействия, дистантного или контактного, на БАТ. Согласно теории китайской медицины, лечению прогреванием хорошо поддается любой симптом, вызванный его недостаточностью или холодом. В качестве источника тепла используют полынные сигаретки или конусы моксы (конусные слепки из измельченной полыни или чернобыльника), которые поджигают и поддерживают их тление [1]. Используют также методы прогревания через иглу. Иглу нагревают тлеющей полынью. Наиболее современный способ теплового воздействия на БАТ тепловых импульсов как отрицательных, так и положительных температур, был предложен в [18, 20], где использовался генератор тепловых импульсов на эффекте Пельтье с возможностью управления параметрами тепловых импульсов (амплитуда отрицательных и положительных температур, время воздействия этих температур на БАТ). Воздействие КВЧ на БАТ в процессе термопунктуры можно рассматривать как результат воздействия теплового радиоизлучения используемого источника тепла, которое можно представить в виде формулы Рэлея–Джинса [18]:

$$R(f,T) = \frac{2\pi kT}{\lambda^2},$$

где $R(f,T)$ – плотность излучения абсолютно черного тела на частоте f при абсолютной температуре T; k – постоянная Больцмана; λ – длина волны.

Для характеристики излучения реальных тел необходимо учитывать яркостную температуру и «кажущуюся температуру» [18].

Плотность изучения на частоте 300 ГГц при температуре горения источника тепла 1000 °С составит порядка 10^{-14} Вт/м$^2\cdot$Гц.

Мощность P радиотеплового сигнала в полосе частот $\Delta f = 100$ МГц теплового источника с температурой T = 500 К, расположенного на (над) БАТ, равна

$$p = kT\Delta f = 6\cdot10^{-13} \text{ Вт}.$$

Кроме теплового воздействия на БАТ, а также и электромагнитных полей, в том числе и на лечебных частотах 42,25; 53,57; 61,2 ГГц [14], при очень низком уровне плотности мощности (менее 10^{-15} Вт/м^2·Гц) на БАТ оказывает действие атмосферный воздух, так как под действием высокой температуры существенно увеличиваются тепловая скорость движения молекул газов атмосферного воздуха, имеющих кинетический диаметр в пределах 2,9…3,6 Å, а, следовательно, их диффузия в процессе дыхания через биологические элементы кожи (межклеточные щелевые контакты с размерами 70…100 нм, потовые железы и др.), которые, в свою очередь, существенно расширяются под действием высокой температуры [16].

Кроме того, шумовое излучение КВЧ-мощности от нагретого тела может возбудить резонансное вращательное движение молекул атмосферного газа, например, на частотах (61,2 и 129 ГГц) молекулярных спектров поглощения атмосферного кислорода [5, 14], которого в атмосферном воздухе наибольшее количество ~ 20 % (после инертного газа азота) по сравнению с другими газами атмосферы. При этом может наблюдаться также молекулярный стохастический ре-

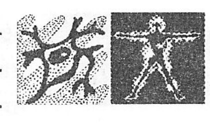
зонанс, усиливающий вращательно-колебательную энергию молекул атмосферного кислорода, и, тем самым, повышающий его скорость диффузии через БАТ.

Заключение

На основании изложенных выше некоторых электродинамических представлений процесса акупунктуры можно предложить следующую модель взаимодействия атмосферного воздуха и БАТ, связанных между собой иглой-каналом информационного, энергетического и молекулярного взаимодействий между ними.

Игла с точки зрения информационного и энергетического взаимодействия представляет собой широкополосную приемопередающую антенну, работающую в диапазоне частот, включая диапазон КВЧ, ~ 0,5…1000 ГГц. Диапазон частот определен по размерам и геометрии игл, которые тысячелетиями сформировались в процессе эволюции метода китайской акупунктуры [1, 2, 4]. Этот диапазон перекрывает диапазон вращательных молекулярных спектров излучения и поглощения атмосферных газов [3], а также захватывает терагерцовый диапазон частот, отличительной особенностью которого является то, что человеческое тело более прозрачно для этих частот [11].

Электромагнитное поле вокруг иглы имеет круговую или эллиптическую поляризацию. Часть иглы, введенной в биологическую среду, имеет хорошее согласование с ней через линию Губо с плавным уменьшением диаметра центрального проводника (иглы) до острия, контактирующего с этой средой. Поэтому внешний сигнал СВЧ проходит внутрь БАТ на глубину, существенно (в 10 – 40 раз) превышающую скин-слой, с малыми потерями. В области острия формируется электрическое поле с большой напряженностью, вызывающее усиление ионных токов в биологической среде. Энергия электромагнитного поля в режиме приема в указанном диапазоне расходуется не только на возбуждение внутренней среды БАТ, но и на облучение поверхности кожи БАТ вокруг иглы полем, имеющим круговую поляризацию. В режиме передачи внутренняя часть иглы принимает излучение из биологической среды и передает на внешнюю часть иглы и излучает в свободное пространство. Прием и передача сигналов может осуществляться одновременно на разнесенных по указанному диапазону частотах.



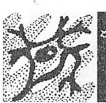
Предложенная модель подтверждается экспериментально СПЕ-эффектом [14], который заключается в том, что при облучении кожи человека монохроматическим сигналом мощностью около 10 мкВт на частотах 50,3; 51,8 и 65 ГГц тело человека начинает излучать в атмосферу поле стохастического резонанса (резонансный отклик) на частотах, приблизительно в 50 раз ниже облучаемых частот ~ 1 ГГц.

Таким образом, иглу в процессе акупунктуры можно представить в виде приемопередающей антенны, с помощью которой осуществляется информационное и энергетическое взаимодействие между человеком и атмосферой в широком диапазоне частот – 0,5…1000 ГГц. Причем, если использовать иглы других конфигураций и размеров и учитывать при расчете большее число нечетных гармоник, то этот диапазон частот будет еще шире.

Знание электродинамических свойств процесса акупунктуры позволяет выбирать геометрию игл с целью одновременного воздействия на БАТ КВЧ-волн на лечебных частотах 42,25; 53,57 и 61,2 ГГц и др., например, на частотах вращательных молекулярных спектров излучения атмосферных газов. Таким образом повышается их реакционная способность при кожном дыхании, в том числе и при легочном дыхании, так как газы атмосферного воздуха будут возбуждаться не только вокруг игл и БАТ, но и в помещении, где проводится лечение акупунктурной терапией, за счет многократных отражений от стен и других предметов помещения.

Иглы, введенные в БАТ, имеют разные собственные резонансные частоты, которые позволяют, облучая кожу человека с помощью генератора качающейся частоты в диапазоне $f_1...f_n$, осуществлять последовательно во времени возбуждение игл и БАТ.

Таким образом, становится возможным дистанционное радиоуправление процессом акупунктуры. Эти иглы могут быть также приемниками шумового сигнала, излучаемого атмосферой. Например, игла, имеющая собственную

резонансную частоту 61,2 ГГц (частота атмосферного поглощения кислорода), активизирует диффузию этого газа через кожу БАТ, а также через острие иглы в биологической среде (подкожной структуре БАТ).

В процессе микропрессуры необходимо учитывать размеры и форму диэлектрических возбудителей БАТ, от которых зависит лечебный эффект КВЧ-волн, а также размеры и форму элементов бижутерии, ювелирных изделий и предметов быта.

В процессе термопунктуры на БАТ действует не только тепловое излучение, но и лечебные КВЧ-поля, усиливается диффузия атмосферных газов через кожу.

Лечение методом акупунктуры в соответствии с учением чжен-цзю заключается в том, чтобы добиться равновесия циркуляции энергии «*чи*» в организме посредством определенного воздействия на заданные БАТ.

Из предложенной электродинамической модели методов акупунктуры следует, что энергия «*чи*» очень похожа на энергию поля КВ«Ч *и*» … ?

🕮 Литература

1. *Васичкин В.И.* Методы китайской акупунктуры. – М.: ООО «Изд-во АСТ»; СПб.: ООО «Изд-во «Полигон», 2001.
2. *Вогралик В.Г., Вогралик М.В.* Пунктурная рефлексотерапия. Чжень-цзю. – Горький, 1988.
3. *Катин А.* Фоль – Метод 2 плюс: акупунктура. синдром хронической усталости, КВЧ в медицине, гомеопатия. – С.-Петербург: ООО «Изд-во Деан», 2001.
4. *Li Shaozhi, Tan Xiaohong* ed Chinese Therapeutic Methods of Acupoints. Changha, 1998.
5. *Майбородин А.В., Креницкий А.П., Бецкий О.В.* Электродинамическая модель взаимодействия КВЧ-волн и атмосферного воздуха в дыхательной системе. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, № 5-6, 2002.
6. Справочник по элементам радиоэлектронных устройств. Под ред. *В.И. Дулина, М.С. Жука*. – М.: Энергия, 1977.
7. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.
8. *Никольский В.В.* Антенны. – М.: Связь, 1966.
9. *Козарь А.В., Королев А.Ф., Шевелева Е.Н.* и др. Формирование интерференционной картины при моделировании воздействия ММ-облучения на многослойную кожную ткань. – Миллиметровые волны в биологии медицине, 2002, № 3 (27).
10. Справочник по теоретическим основам радиотехники/ Под ред. *Б.Х. Кривицкого, В.Н. Дулина*. Т. 1. – М.: Энергия, 1977.
11. Фредерико Копассо (комп. Bel labs, шт. Нью Джерси) и Джером Фэйст (Швейцарский университет). Терагерцовые волны. – Ж. «Ломоносов», 2002, № 5.
12. *Майбородин А.В., Медведева Н.А., Гулейков М.Ю.* Устройства для рефлексотерапии. – Электронная промышленность, 1991, № 7.
13. А.с. № 1069220. Устройство для рефлексотерапии, изобретение/ *Майбородин А.В., Медведева Н.А., Акимов А.М.*
14. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* Биологические эффекты миллиметровых волн низкой интенсивности. – Матер. конференции, Севастополь, 9-13 сентября 2002, с. 67-71.
15. *Ильченко М.Е., Взятышев В.Ф., Гассанов Л.Г.* и др. Диэлектрические резонаторы. – М.: Радио и связь, 1989.
16. Физические величины. Справочник/ Под ред. *И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова*. – М.; Энергоиздат, 1991.
17. *Вавилов В.С., Гиппиус А.А., Конорова Е.А.* Электронные и оптические процессы в алмазе. – М.: Наука, 19854.
18. Справочник по радиоэлектронике/ Под ред. *А.А. Куликовского*. Т. 3. – М.: Энергия, 1970.
19. *Пыляев М.И.* Драгоценные камни. Их свойства, местонахождение и употребление. Репринтное воспроизведение 1888 г. – М.: Совместное советско-австрийское предприятие «Х.Г.С.» 1990.
20. А.с. № 3661031. Устройство для рефлексотерапии/ *Майбородин А.В., Медведева Н.А., Акимов А.М.*

Поступила 25 декабря 2002 г.